Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 553.94:622.031.52(574.3) На правах рукописи

САТИБЕКОВА САНДУГАШ БОРАНБАЕВНА

Создание геолого-геофизической модели для прогноза устойчивости пород кровли угольных пластов карагандинского бассейна

6D070600 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
А.Б. Байбатша – доктор геолого-минералогических наук, профессор КазНИТУ имени К.И. Сатпаева,

Peng Suping – Director, Doctor, Professor in State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology

Республика Казахстан
Алматы, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 6
ВВЕДЕНИЕ 7
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ ОТРАБОТКИ 14
1.1 Изученность проблемы устойчивости горных выработок 18
1.2 Геофизическая изученность 19
Выводы по главе 1 21
2 ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КАРАГАНДИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА 22
2.1 Стратиграфия 22
2.2 Тектоника 27
2.3 Угленосность 30
Выводы по главе 2 34
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 35
3.1 Натурные наблюдения в горных выработках 36
3.2 Лабораторные исследования керна с целью определения физико-механических свойств пород кровли угольных пластов 37
3.3 Микроскопическое исследование углевмещающих пород 39
3.4 Изучение отражательной способности витринита в угле в «Отделе микроскопических исследований» с помощью микрофотометра Leitz 307-107.002 40
3.5 Геофизические исследования скважин 42
Выводы по главе 3 45
4 ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД КАРАГАНДИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА 48
4.1 Питающие провинции (петрофонд) седиментационного бассейна 48
4.2 Фациальные типы и литологический состав угольных свит 56
4.3 Постседиментационные преобразования горных пород 68
4.4 Отражательная способность витринита как показатель степени постдиагенетических изменений отложений 72
Выводы по главе 4 78
5 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН 81
Выводы по главе 5 99

6 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ И ВЫБОРА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ В ЛАВАХ 101
Выводы по главе 6 111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 116
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Результаты определения физико-механических свойств пород на машине системы тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000) 122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Результаты определения пористости на измерителе пористости, сконструированном SKL 124
ПРИЛОЖЕНИЕ В - Результаты определение степени метаморфизма на микрофотометре 125
ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Документация скважин 126
ПРИЛОЖЕНИЕ Д- Результаты лабораторных анализов ТОО «Центргеоланалит» 131

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. № 407-IV ЗРК.

ГОСО РК 5.04.034-2011: Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан. Послевузовское образование.

Докторантура. Основные положения (изменения от 23 августа 2012 г. № 1080).

Правила присуждения ученых степеней от 31 марта 2011 года № 127.

ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общее требования и правила составления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Диагенез – совокупность процессов, отвечающих стадии диагенеза и зоне диагенеза; этап физико-химического уравновешивания осадков, накопившихся на дне водоемов или на поверхности суши; соответственно различают субаквальный (подводный) и диагенез субаэральный (или экзодиагенез). Диагенез – стадия превращения осадка в осадочные породы (литификация), следующая за седиментогенезом и предшествующая катагенезу. Диагенез играет значительную роль в формировании целого ряда осадочных и стратиформных руд. Глубины распространения процессов диагенеза составляют единицы-десятки метров достигая 100-300, а в океанах, возможно, 500-1000 м [1].

Катагенез – совокупность процессов, происходящих в погребенной осадочной породе (после ее диагенеза) при ее последовательном погружении под влиянием возрастающих температуры и давления до начала процессов метаморфизма. В стадию катагенеза происходит региональная литификация осадочных пород, сопровождающаяся уплотнением пород, отжимом из них свободных капельножидких вод, изменением минерализации и состава поровых вод [2].

Катагенез углей – процесс последовательного преобразования исходного органического вещества углей в результате увеличения глубины погружения и пластовой температуры, происходящей без привноса вещества из внешних источников. С увеличением глубины погружения углеродсодержащих осадков происходит формирование и термическое превращение углей (углефикация) [2, с. 34].

Метагенез – совокупность процессов глубокого минерального и структурного изменения осадочных пород в нижней части стратисферы, происходящих глубины образования под влиянием повышенных температуры (200-300 ºС и давления 180-270 Мпа) в присутствии минерализованных растворов. При этом происходят перекристаллизация ранее образовавшихся аутигенных минералов и глинистого вещества осадочных пород, кристаллизация ряда новых минералов [2, с. 217].

Фация – геологическое тело или ассоциация горных пород, обладающие характерными признаками, отражающими условия их образования (p-T условия, концентрации компонентов, агрегатное состояние, динамика осадконакопления) и отличающими их от соседних или ассоциирующих с ними пород. Кроме того, термин фация употребляют применительно к обстановке формирования соответствующих геологических тел. Термин фация широко применяют при характеристике состава, условий распространения и формирования горных пород разного типа (осадочных, магматических и метаморфических) [3].

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БКЗ – боковое каротажное зондирование

БЭЗ – боковое электрическое зондирование

ДС – кавернометрия (диаметр скважины)

ИГМЛ – Инновационная геолого-минералогическая лаборатория

КазНИТУ – Казахский национальный исследовательский технический университет

КС – кажущееся электрическое сопротивление пород

ASRT – Метод дифракционной экстракции с использованием модифицированного с перемещением точки вершины преобразования радона

Double-Branch Radon Transform – метод с сохранением полярности двухвекторного преобразования радона

SKL – State Key Laboratory

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технической проблемы. История развития горно-геологических работ Карагандинского каменноугольного бассейна сводится к увеличению глубины разработки. В XX веке средняя глубина разработки составляла около 300 м по вертикали от поверхности, в настоящее время глубина разработки подземным способом составляет 600-700 м.

В дальнейшем намечается увеличение глубины эксплуатации в связи с потребностью в коксовом угле, так как в настоящее время карагандинские угли используются в качестве кокса в металлургии, энергетике, а также как источники природного попутного газа (метана) [4, 5].

Угли Карагандинского бассейна обеспечивают не только внутренние потребности, но и экспорт Казахстана. Для увеличения производственных мощностей требуются внедрение на угольных предприятиях современные технологические схемы и высокопроизводительное горное, транспортное и вспомогательное оборудование. Карагандинский бассейн коксующихся углей разрабатывается подземным способом, поэтому актуальным является рациональное и безопасное ведение добычи для улучшения технических и экономических показателей производства. Совершенствование методов шахтной геологии позволит применять способы активной борьбы с неблагоприятными инженерно-геологическими явлениями, что при все большем внедрении ресурсосберегающих технологий в горной промышленности является одной из основных предпосылок успешной работы современного горного предприятия.

Основной проблемой при эксплуатации угольного месторождения подземным способом является предупреждение обрушения пород кровли угольных пластов. Научно-обоснованное прогнозирование устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна способствует не только полноту освоения запасов, но и обеспечит рациональное и безопасное ведение горных работ. Что в свою очередь необходимо при строительство новых шахт и увеличении численности работников [6-8].

Опубликован целый ряд трудов по методам прогнозирования устойчивости кровель угольных пластов авторов А.Г. Кобилева, Д.В. Погромского, И. Н. Воронина, В. Т. Глушко, И.П. Жингель, А.З. Широкова, Г. Г. Скворцова и В. В. Фромма, А.А. Колегова, А. Д. Чулкова, Р. П. Исакова, Б. В. Радько, С. И. Малинина, Б. В. Смирнова, О.С. Алферова, Е. Н. Зубенко, Р.Н. Ненашевой, М. И. Аксененко, В. В. Куликова, В. С. Лазарева и др.

Физико-механические свойства углевмещающих пород и углей Карагандинского угольного бассейна изучены Т.Р. Серикбаевым, И.М. Косенко, М.С. Пудовым, В.Е. Болдыревым, А.Б. Байбатша. Однако необходимо разработать единую методику изучения физико-механических свойств пород кровли и прогноза устойчивости для Карагандинского бассейна.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационной работы служит инженерно-геологическое обеспечение устойчивости пород кровли угольных пластов при увеличении мощности лав. Исходными данными являются данные натурных и лабораторных экспериментов по изучению инженерно-геологических условий шахтных полей Карагандинского каменноугольного бассейна – важнейшей угольной базы Казахстана. Работа основана на изучении и анализе фондовых материалов предыдущих лет и литературного обзора, натурных наблюдений в шахтах, кернового и каменного материала из разреза разведочных скважин и горных выработок, результатов экспериментов во время научно-исследовательской работы автора с 2010 по 2019 гг. Отобран керновый материал для проведения лабораторных исследований. Изготовлены шлифы из основных типов углевмещающих пород. Всего изучены 55 керновых и 10 монолитных проб горных пород, проанализированы каротажные диаграммы 92 разведочных скважин, описаны под микроскопом 22 шлифа. Автором проведены наблюдения за поведением кровли горных выработок для выявления горнотехнических и геологических факторов и эксперименты по определению петрографических (вещественный состав, структура и текстура, отражательная способность витринита) особенностей и физико-механических свойств (плотность, пределы прочности на сжатие и растяжение, динамические константы) в лабораториях во время обучения и прохождения стажировки в лаборатории State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing) в г. Пекин (КНР).

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. С развитием горных работ на больших глубинах, усложнением горно-геологических условий, а также в связи с подработкой выработками застроенных территорий возникла необходимость в более полном изучении инженерно-геологического состояния угольного массива. При увеличении глубины разработки шахтным способом поддержание кровли выработанного пространства и её устойчивость являются важным показателем для безопасного и рационального ведения добычных работ. Вопросы устойчивости пород кровли угольных пластов являются проблемами экономической значимости для угольных предприятий, так как простои в работе очистных лав, оснащенных механизированными крепями, связаны с внезапным обрушением пород кровли горных выработок и поломкой частей крепи, находящихся в зонах повышенного горного давления. Поэтому обоснование устойчивости углевмещающих пород в очистных выработках обеспечит высокие темпы развития добычных работ, устранение аварийных ситуаций и поддержания подготовительных выработок в течение выемки угля и без необходимости проведения ремонтных работ для частей механизированного комплекса [9].

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них определяются полнотой исследования инженерно-геологических условий шахтных полей бассейна. По проблеме устойчивости проведен литературный и патентный обзор

отечественных и зарубежных ученых. Выбраны современные методы изучения в лабораториях, оснащенные оборудованиями отвечающими требованиям науки и техники настоящего времени. Проведены шахтные наблюдения за поведением кровли выработок.

Научно-технический уровень диссертационной работы определяется новизной полученных результатов, перспективностью использования результатов и завершенностью проведенных исследований. Разработанная методика оценки физико-механических свойств включает в себя комплексный подход при решении проблемы устойчивости пород кровли горных выработок.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных приборов, прошедшие метрологическую проверку для проведения инженерно-геологических исследовний на современных сертифицированных лабораториях «Инновационной геолого-минералогической лаборатории» КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing) в г. Пекин (КНР), ТОО «Центргеоланалит» (г. Караганда).

Физико-механические свойства углевмещающих пород определены системой тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100) и машиной для определения пористости, построенной SKL; для определения петрологических особенностей угля и углевмещающих пород использованы микрофотометр Leitz 307-107.002 и микроскопы Leica DM2700, ПОЛАМ Л-213М; геологическое и сейсмическое моделирование по экспериментальным данным с использованием скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн на базе программного обеспечения VMware Workstation Pro в системе Linux, построение числовой модели на базе программы MATLAB 2018.

Определение степени метаморфизма углей и классификация углей проводилось согласно ГОСТ 12113-94, ГОСТ 25543-88, ASTM D388, ASTM D2798.

Единицы измерения в диссертационной работе соответствуют метрологическим правилам и нормам Международной системы единиц СИ.

Актуальность темы. Существенное влияние на снижение затрат при угледобыче оказывают неблагоприятные горно-геологические факторы, осложняющие работу очистных забоев. Оценка этих факторов, предотвращение осложнений напрямую зависит от достоверности выявления горно-геологических факторов, влияющих на отработку запасов угля. Шахтные поля Карагандинского каменноугольного бассейна характеризуются сложным геологическим строением, изменчивостью качественных показателей угля и физико-механических свойств углевмещающих пород по площади и латерали. Поэтому должны быть более детально изучены состав и физико-механические свойства углевмещающих пород.

Научные основы выявления геологических основ формирования строения, литологического состава и физико-механических свойств, общего состояния

горного массива и постдиагенетические изменения углей и углевмещающих пород приобретают актуальность для развития и совершенствования технологии добычи. На основе анализа вышесказанного можно сделать количественную оценку физико-механических свойств, которая дает возможность прогнозировать устойчивость пород кровли угольных пластов в очистных выработках.

Новизна темы:

– впервые установлена зависимость состава и свойств углевмещающих пород Карагандинского бассейна от петрофонда осадочного бассейна, условий формирования и морфологии угольных пластов, литогенетических и фациальных типов пород, которые оказывают влияние на состояние пород в кровле подземных очистных выработок;

– метод Apex-Shifted Radon Transform (ASRT - Метод дифракционной экстракции с использованием модифицированного с перемещением точки вершины преобразования радона), который определяет расположение точек дифракции и Double-Branch Radon Transform (метод с сохранением полярности двухвекторного преобразования радона), который сохраняет полярность дифракции. Эти методы используются для выявления геологических блоков пород в кровле угольных пластов [10];

– выведены многомерные корреляционные уравнения для оценки физико-механических свойств углевмещающих пород по данным каротажных диаграмм разведочных скважин методами кажущегося сопротивления и кавернометрии и исследований петрографических особенностей в лабораториях;

– впервые создана геолого-геофизическая модель оценки физико-механических свойств и разработаны научные основы прогноза устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна с выделением их классов в очистных выработках.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Автор принимает активное участие в выполнении проектов программно-целевого финансирования № BR05233713 «Комплексное геологическое изучение недр для развития ресурсной базы и разработки новых источников рудного сырья Казахстана» (на 2018-2020 гг.) и № U1261203 «Объединенный проект по углю Национального фонда естествознания» (КНР) на 2018-2020 гг.

Цель работы - создание геолого-геофизической модели физико-механических свойств и прогноза устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна с применением комплекса геологических и геофизических методов и учетом особенностей геологического строения углевмещающего массива.

Идея работы заключается в использовании для определения физико-механических свойств и прогнозирования устойчивости кровли горных выработок отражательной способности витринита (R_0) углей, геофизического параметра $\rho_к$ – электрическое кажущееся сопротивление горных пород, отражающее геофизические поле; d – диаметр скважины, отражающий состояние стенок скважины от момента перебурки до снятия кавернограммы,

Объектом исследования является Карагандинский угольный бассейн, разрабатываемый подземным способом.

Предметом исследования являются инженерно-геологические условия, влияющие на устойчивость пород кровли угольных пластов в очистных выработках.

Задачи исследований, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

1) изучение инженерно-геологического строения Карагандинского каменноугольного бассейна. Выявление неблагоприятных горно-геологических факторов при прогнозировании устойчивости кровли горных выработок шахт;

2) анализ методов, принципов и средств оценки физико-механических свойств горных пород по предыдущим исследованиям;

3) проведены исследования физико-механических свойств, изучение петрографических особенностей углевмещающих пород в лабораториях;

4) создание методики оценки физико-механических свойств типичных пород кровли седиментационного бассейна геофизическими методами исследования скважин;

5) разработка геолого-геофизической модели устойчивости пород кровли угольных пластов по разведочным данным;

6) разработать рекомендации для управления горным давлением, экономически эффективной и безопасной добычи технологии и выбора типов механизированной крепи, обеспечивающих поддержание кровли во время очистных работ в лавах.

Методологическая база исследований состоит из следующих основных методов и анализов:

– определение состава, строения, структурно-текстурных особенностей углевмещающих пород на поляризационных микроскопах ПОЛАМ Л-213М, Leica DM2700;

– определение степени метаморфизма угля по отражательной способности витринита на микрофотометре Leitz 307-107.002;

– испытание образцов углевмещающих пород на трехосное сжатие и растяжение системой тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100)

– определение пористости на приборе, сконструированной SKL;

– геологическое и сейсмическое моделирование по экспериментальным данным с использованием скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн на базе программного обеспечения VMware Workstation Pro в системе Linux, построение числовой модели на базе программы MATLAB 2018;

– интерпретация геофизических диаграмм электрического метода кажущегося сопротивления для определения физико-механических свойств;

– на основе математической статистики выведение многомерной математической геолого-геофизической модели физико-механических свойств для аргиллитов, алевролитов, песчаников;

– на основе геолого-геофизической модели построена прогнозная карта устойчивости и разработаны рекомендации для рационального ведения горных работ.

Положения, выносимые на защиту

1 Геологические условия формирования состава, свойств и состояния углевмещающих пород связаны с петрофондом питающих провинций, фациальными особенностями седиментационного бассейна и степенью постдиагенетических преобразований осадков. Степень постдиагенетических изменений горных пород можно оценить количественно по отражательной способности витринита углей. Установлена зависимость между метаморфизмом углей, петрографическими особенностями, физико-механическими свойствами и устойчивостью углевмещающих пород.

2 Создана геолого-геофизическая модель физико-механических свойств и устойчивости углевмещающих пород по данным геофизических методов исследований буровых скважин (каротажа). Связь физико-механических свойств пород кровли угольных пластов с геофизическими параметрами описывается многомерными математическими уравнениями, которые учитывают генетические и эпигенетические факторы формирования угольного массива.

3 Разработанная геолого-геофизическая модель свойств и состояния углевмещающих пород служит научной основой прогноза устойчивости пород кровли и выбора типа механизированной крепи в лавах. Карта устойчивости пород кровли, построенная по геологоразведочным данным с выделением соответствующих классов кровли по устойчивости в предпроектную стадию, обеспечивает рациональное и безопасное ведение горных работ в лавах.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что результаты исследований позволяют:

– оперативно оценить физико-механические свойства углевмещающих пород с помощью геолого-геофизической модели, которая создана на основе геофизических каротажных диаграмм по литотипам пород;

– использование данной модели обеспечивает оценку свойств горных пород непрерывно по всему разрезу разведочной скважины в естественном их залегании и охватить достаточное количество скважин по шахтному полю. Такой метод является экономически выгодным и достоверность методики подтверждается использованием представительных каротажных диаграмм;

– используя разработанную методику можно моделировать свойства на графических программах для любого участка Карагандинского бассейна;

– рекомендовать управление кровлей лав с учетом геологического строения и физико-механических свойств углевмещающих пород для выбора механизированных крепей.

Публикации и апробации работы. По результатам выполненных научных исследований опубликованы 16 статей и докладов, в том числе 4 работы в международном научном издании, входящим в базу данных компании Clarivate Analytics, Scopus и имеющем ненулевой импакт-фактор и 5 статей в научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки РК. Полученные

результаты широко апробированы на международных и республиканских научных конференциях, таких как «Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Практика геологов на производстве» (Россия, Ростов на Дону, 2016 г.), «Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина», (Россия, Томск, 2017 г.), International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM (Албена, Болгария, 2017 г.), «37th EARSeL Symposium “Smart Future with Remote Sensing» (Czech Republic, Prague, 2017 г.), 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, 2019, Сатпаевские чтения: «Научное наследие Шахмардана Есенова» (Казахстан, Алматы, 2017 г.), «Инновационные решения традиционных проблем: Инженерия и технологии» (Казахстан, Алматы, 2017 г.), «X Международная конференция молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях» (Кыргызстан, Бишкек, 2018 г.), «Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0» (Казахстан, Алматы, 2019 г.).

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ ОТРАБОТКИ

Казахстан входит в десятку стран, на территории которых находятся самые большие залежи угля в мире – занимает 8-е место в мире по подтвержденным запасам угля всех видов: от бурых до каменных (рисунок 1.1). Доказанные запасы угля в Казахстане оцениваются в 34,2 млрд.т. (4% от общемирового объема), в том числе запасы бурых углей составляют – 62%, каменных углей – 38%. Казахстан ежегодно входит в 10 мировых лидеров по добыче угля (107,3 млн.т в 2015 г.). Ресурсная база энергетического угля Казахстана характеризуется большим объемом, высокими показателями зольности и содержания серы. Коксующийся уголь характеризуется значительными разведанными запасами и достаточно высоким качеством. Ввиду значительного объема неосвоенных запасов (Казахстан обеспечен углем более чем на 250 лет) в стране наблюдается низкая активность по геологоразведке угольных месторождений [11].

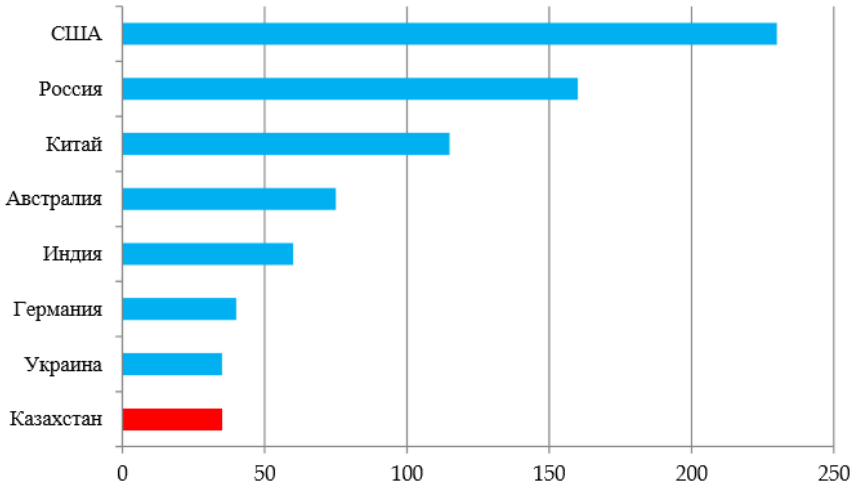


Рисунок 1.1 – Объемы доказанных запасов угля по странам, млрд.т.

В исторических координатах мировой промышленной добычи ископаемого угля по продолжительности индустриальной угледобычи Казахстан находится после Великобритании, США, России, Украины, Германии и Польши. По удельной (к объемам подземной добычи) смертности в катастрофических авариях в шахтах Казахстан демонстрирует относительно безопасный уровень добычи за все время индустриального развития. Наиболее смертельную историю подземной угледобычи имеют Япония, Турция и Великобритания, затем следуют Германия, США, Китай и Индия (рисунок 1.2) [9, с. 2; 12]:

Страна, территория стран (в порядке продолжительности промышленной угледобычи)	Период промугледобычи		Суммарная добыча, млрд т			Смертельная тяжесть аварии, число погибших	Количество известных смертельных аварий	Погибло в авариях, чел.
	Лет	Годы	Всего	в том числе способом: подземным	в том числе способом: открытым			
Великобритания	300	1700-2000	20.3	19,5	0,8	от 60 от 100 от 200 от 300 от 400	56 29 8 3 1	7487 5390 2366 1114 439
США	185	1830-2015	73.6	43.8	29.8	от 25 от 60 от 100 от 200 от 300	123 54 26 5 1	8968 6354 4159 1323 362
Германия	155	1860-2015	35	9*	26**	от 95 от 200 от 300 от 400	16 5 2 1	2597 1599 753 405
Польша	135	1880-2015	13.3	10.4*	2.9**	от 25 от 60 от 100 от 200	15 7 6 1	1222 961 889 200
Российская Империя, СССР, РФ, Украина, Казахстан	125	1890-2015	39.4	22.7	16.7	от 25 от 60 от 100 от 200	69 19 4 1	3600 1704 605 271
Япония	90	1900-1990	2.6	2.6	н/д	от 60 от 100 от 200 от 300 от 400 от 600	24 18 12 5 3 1	5231 4793 3926 2309 1568 687
Турецкая Республика	92	1923-2015	2.1	0.4*	1.7**	от 25 от 60 от 100 от 200	8 4 3 2	893 730 667 564
Республика Индия	68	1947-2015	13	-	-	от 25 от 60 от 100 от 200 от 300	11 5 3 2 1	1200 945 818 643 375
Китайская Народная Республика	66	1949-2015	69	66*	3**	от 100 от 200 от 600	25 2 1	3957 898 684

* – суммарная добыча каменного угля подземным способом;
** – суммарная добыча бурого угля открытым способом

Рисунок 1.2 – Угледобывающие страны мира в XIX-XXI вв.: масштабы добычи, количество смертельных катастроф в шахтах и число погибших в них

Причинами аварий на шахтах (таблица 1.1) служит горный удар во время обрушения основной кровли. Анализ результатов исследований, выполненных на шахтах Карагандинского угольного бассейна, позволил установить общие закономерности процесса обрушения основной кровли и интенсивность газовыделения из очистного пространства. Прослеживается четкая взаимосвязь между шагами обрушения основной кровли, объемами и интенсивностью метановыделения. Одновременно с периодическими шагами обрушения основной кровли происходят периодические выбросы метана в выработанном пространстве очистной выемки.

Когда система дегазации работает неэффективно (внезапная остановка вакуумных насосов, разрыв газопровода, высокая нагрузка на лаву и т.д.), происходят выбросы метана при обрушении пород основной кровли из выработанных пространств. Мощность таких выбросов зависит от физико-

механических характеристик вмещающих пород, а также от природной газоносности пласта и окружающих горных пород, попадающих в зону сдвижения.

Когда в почве и кровле залегают крепкие слои пород, выбросы метана происходят максимальной мощности, при этом возникает «поршневой» эффект – с мгновенным выбросом метана в горные выработки при обрушении кровли [13].

Таблица 1.1 – Список аварии на шахтах Карагандинского каменноугольного бассейна из интернет-источника «Шахтерская энциклопедия» [14]

Дата	Шахта	Город / Область	Вид аварии	Количество жертв
7 июля 1994	Шахта «Казахстанская»	Шахтинск, Карагандинская область	взрыв метана	14
16 марта 1994	Шахта «Актасская»	Сарань, Карагандинская область	пожар	11 горноспасателей
24 ноября 1995	Шахта имени В. И. Ленина (Шахтинск)	Шахтинск, Карагандинская область	взрыв метана	13
5 декабря 2004	Шахта «Шахтинская»	Шахтинск, Карагандинская область	взрыв метана	23
20 сентября 2006	Шахта имени В. И. Ленина (Шахтинск)	Шахтинск, Карагандинская область	взрыв метана	41
11 января 2008	Шахта «Абайская»	Абай, Карагандинская область	взрыв метана	30
2 июня 2008	Шахта «Тентекская»	Шахтинск, Карагандинская область	внезапный выброс угля и газа	5

В последние годы проведено различные типы подземных испытаний и наблюдений, направленных на оценку устойчивости кровли в лавах. В результате выявлены факторы, влияющие на устойчивость кровли горных выработок: природные геологические факторы, независимые от человеческой деятельности и технические факторы, возникающие в результате деятельности человека (рисунок 1.3) [15].

В настоящее время горнодобывающие предприятия ставят проблему устойчивости пород кровли горных выработок, которая зависит, прежде всего от физико-механических свойств угля и их вмещающих пород. Во многих предприятиях этим вопросом занимались не специалисты инженерной геологии, и не уделялось особого внимания к данной проблеме. Наблюдалось сильное отставание теоретических исследований от практики.

Рисунок 1.3 – Факторы, влияющие на устойчивость кровли горных выработок

Решение этих вопросов обеспечит полную и рациональную добычу полезных ископаемых, безопасность труда и рабочих. Как в свое работе отмечал З. Бенявски (1990): «В период с 1920 по 1930 год, когда годовая добыча угля в США составляла в среднем около 530 млн т, на американских угольных шахтах ежегодно погибало более 2,5 тыс. шахтеров. Для сравнения: в 1985 году было добыто более 880 млн т угля и погибло 67 человек. Более того, уровень травматизма снизился до 6,6 случаев на 200 тыс. человеко-часов. Статистика показывает, что в подземных шахтах три четверти несчастных случаев со смертельным исходом происходят при обрушениях кровли и разрушении целиков или при транспортных операциях» [16].

П.Н. Панюков (1978) отмечал, что: «Недостаточное знание инженерно-геологических условий горно-строительных и горно-эксплуатационных работ и неумение оценивать их с горно-технологических позиций более опасно, чем сами неблагоприятные горно-геологические условия. Элемент неожиданности при возникновении различного рода нарушений нормальных условий производства работ в большинстве случаев является следствием этого. Вместе с тем всесторонний учет инженерно-геологических факторов таит в себе значительные резервы и возможности улучшения технико-экономических показателей работы горного предприятия и сохранения этих показателей в сложных горно-геологических условиях и на значительных глубинах залегания полезного ископаемого» [17].

В настоящее время устойчивость пород кровли очистных выработок и ее инженерно-геологическое обоснование становится актуальной проблемой при подземных условиях разработки на угольных предприятиях.

Несмотря на большое количество исследований, проблема устойчивости кровли горных выработок остаётся актуальной, по сей день. Причиной невозможности разработки единой методики служит совокупность вышеназванных факторов, которые характеризуют инженерно-геологические условия каждого месторождения.

Решение этой проблемы является разработка методик, моделей и рекомендаций, основанные на исходных данных, обработке полученных результатов исследования, математической и статистической анализах.

1.1 Изученность проблемы устойчивости горных выработок

Идея прогнозирования качества и мощности угольных пластов была выдвинута еще в 1910 г. Л.И. Лутугиным на съезде горно-промышленников России. С тех пор вопросы прогноза природных свойств углей остаются в поле зрения многих исследователей.

В начале 60-х годов XX в. большой авторский коллектив в составе В.З. Ершова, В.С. Попова, В.А. Банковского, С.Т. Прокопченко. И.Н. Кашпур, Е.И. Зайцевой, М.Л. Левенштейна, В.В. Видавского, Н.К. Фукс, М.М. Лифшиц, А.З. Юровского и др., опубликовал многотомный труд «Геолого-углехимическая карта Донбасса». Выход в свет этой работы положил начало развитию научно обоснованных методов прогноза свойств и качества угольных пластов.

Успеху дальнейшего изучения вопросов прогнозирования в значительной степени содействовали работы сотрудников лаборатории геологии угля АН СССР. Совещания, организованные этой лабораторией, показали, что вопросы прогноза качества углей волнуют не только геологов Донбасса (А. М. Ищенко, 1956 г.; А.Г. Кобилев, 1958 г. и др.); этому вопросу посвящаются работы Яворского (1957 г.) по Кузбассу, Е.В. Михайловой (1956 г.) по Подмосковью, А.В. Македонова (1956 г.) по Воркутинским угольным месторождениям.

Углубленное изучение вопросов прогнозирования качества и условий разработки угольных пластов, детализация отдельных сторон направления наблюдаются с конца 60-70-х годов XX в.

Изучение вопросов прогнозирования горнотехнических и геологических условий разработки угольных пластов (особенно устойчивости пород кровли) систематически было начато в Донбассе геологической лабораторией ВУГИ в 1953-1954 гг.

Этим вопросам посвящены работы П.В. Васильева (1959, 1960, 1966 гг.), С.И. Малинина, (1960, 1963, 1968 гг.), В.Л. Свержевского (1963, 1964, 1967, 1969 гг.), Б.П. Овчаренко и М.П. Шамаевой (1964 г.), А.П. Максимова и О.С. Алферова (1965 г.), Н. Г. Русакова (1965 г.) и А.Н. Кабокина (1966 г.).

Наиболее капитальными в этом направлении были исследования П.В. Васильева. Он впервые, разрабатывает классификацию устойчивости пород

кровли угольных пластов на основе широкого привлечения и использования геологических особенностей напластований пород в кровле.

Очень большая работа статистического характера по обобщению многочисленных результатов физико-механических испытаний пород кровли и почвы выполнена В.Л. Свержевским, А.П. Максимовым, О.С. Алферовым, В. Д. Лукьяновым и др. В результате Алферов делит все породы по устойчивости на три категории: устойчивые, предельные и неустойчивые. Они отмечают, что с определенной глубиной эти породы независимо от прочих факторов переходят в неустойчивое состояние. Для известняков такой критической глубиной являются 1100 м, песчаников - 700 м, алевролитов - 200-300 м, глинистых сланцев - 500 м (1965 г.).

Этот вывод не совсем корректен, так как одна и та же литологическая разновидность породы на одинаковой глубине ведет себя в горной выработке по разному, что, очевидно, объясняется это не только глубиной залегания, но и фациальными особенностями, минеральным составом, трещиноватостью, минералогией трещин и др. В дальнейшем О. С. Алферов устранил этот недостаток.

Одной из причин, влияющих на устойчивость пород в горных выработках (расслоению), посвящены работы А.Н. Кабокина (1966 г.) и специальное методическое пособие ВНИМИ. Расслоение пород является очень важным параметром, определяющим устойчивость пород кровли. Однако использование этого параметра для прогнозов устойчивости пород должно быть обосновано выявлением генетической связи характера расслоения с фациальной природой слоев. Тогда станет возможным с помощью выделенных изофациальных зон осуществлять надежный прогноз устойчивости пород кровли с учетом их расслоения [18].

Исследования последних лет направлены на разведку с целью восполнения запасов коксующихся углей на глубоких горизонтах в пределах основных геологических структур бассейна – Карагандинской, Тентекской, Шерубай-Нуринской синклиналей.

1.2 Геофизическая изученность

Геофизические исследования в Карагандинском бассейне в период 1933-1941 гг. носили скорее опытный, чем производственный характер. Однако их результаты дали возможность выработать наиболее правильную методику геофизических наблюдений в последующие годы.

Электроразведочные работы (С.И. Дедушкевич, С.И. Рынг, А.Ф. Линовский, Р.И. Шпак) проводились с целью определения мощности мезозойских отложений, прослеживания тектонических нарушений и простирания угольных пластов, скрытых под покровом мезозой-кайнозойских образований.

Опытный каротаж скважин был поставлен в 1936 г. на Промышленном участке бассейна с целью определения его эффективности для изучения строения и мощности угольных пластов. Сейсмическое зондирование, проведенное Ю.В.

Бончковским в окрестностях г. Караганды, показало возможность применения этого метода для изучения глубинного строения Карагандинского бассейна.

Массовое определение плотности горных пород, слагающих Карагандинский бассейн, методом гидростатического взвешивания, производил в 1938-1939 гг. Н.Н. Луцик, который доказал региональное закономерное изменение плотности пород от центра бассейна к его периферии.

Начиная с 1942 г. увеличивается объем геофизических исследований с целью выяснения глубинного строения бассейна (И.С. Теплицкий, В.Н. Цепкова, А.В. Тарасов, и др.). В результате этих работ было высказано предположение о пологом погружении фундамента на запад с соответственным увеличением мощности осадочных пород в этом направлении; четко отбит Тентекский разлом, ограничивающий бассейн с запада; прослежен Майкудукский разлом; уточнено положение Алабасской антиклинали; определена мощность кайнозоя на большей части площади бассейна.

В 1950 г. Карагандинской геофизической экспедицией под руководством Г.В. Матвеева проводились комплексные работы с целью выяснения характера и глубинного строения Алабасской антиклинали и северной части Тентекского района. В результате проведенных геофизических наблюдений определена мощность мезозоя и границы его распространения; прослежено древнее русло р. Шерубай-Нуры.

В дальнейшем геофизические исследования в Карагандинском бассейне сводились к каротажу угольных скважин.

Каротажная служба была организована в 1942 г. и в результате непрерывного совершенствования достигла высокой точности. На основе массовых сопоставлений данных каротажа и бурения с данными горных выработок было доказано, что установление мощности, строения и глубины залегания угольных пластов по каротажу выполняется более точно, чем по бурению. В настоящее время каротажные исследования являются неотъемлемой частью геологоразведочных работ.

В 1961 г. был внедрен метод селективного каротажа, который кроме выделения угольных пластов и определения их мощности и строения позволил определять зольность углей. Селективный каротаж занял основное место при геологической документации угольных скважин и позволил перейти к бескерновому бурению при разведке углей в Карагандинском бассейне.

На нижних и глубоких горизонтах Тентекской мульды применялся метод газового каротажа (Педаш, 1975, 1984), позволяющий определить метаноносность угольных пластов и пород.

Впервые методика с использованием геофизических методов предложена В.М. Мороз (1971) для определения возможности литологического расчленения разреза при бескерновом бурении разведочных скважин, определения и синонимики угольных пластов в различных угольных свитах бассейна и повышения точности документации разреза буровых скважин при разведке особенно нижних горизонтов.

В 80-х годах XX века в пределах Карагандинского бассейна на ограниченных участках проводились опытные сейсморазведочные работы (Перков, 1985). Продолжением геофизических исследований является постановка сейсморазведочных работ МОГТ 3D в южной части поля шахты «Тентекская» [19].

Выводы по главе 1

Для развития горных работ на глубоких горизонтах (до 1200 м) нужно обеспечить устойчивость кровли горных выработок, которая зависит от нескольких факторов. Основным условием необходимым для решения проблемы устойчивости наряду с геологическим строением, являются знания о физико-механических свойствах углевмещающих пород.

Из вышесказанного определена цель исследования и поставлены задачи для достижения цели исследования.

2 ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КАРАГАНДИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Карагандинский угольный бассейн находится в Центральном Казахстане. По запасам и качеству углей занимает ведущее место среди крупнейших угленосных бассейнов мира. В бассейне, вытянутом в широтном направлении на 120 км при средней ширине 60 км, выделяются четыре угленосных района (с запада на восток): Тентекский, Шерубайнуринский, Карагандинский и Верхнесокурский.

Шахты имени В.И. Ленина, «Казахстанская» и «Тентекская» расположены в Тентекском угленосном районе. Границами его являются: на востоке Шерубайнуринский взброс, на юге и севере – естественные выходы карбоновных отложений, на западе – Тентекский взброс (рисунок 2.1).

Шахты имени Костенко, имени Т. Кузембаева и «Саранская» относятся к Карагандинскому району. Поле шахты имени Т. Кузембаева Район I (бывшая шахта им. 50-летия СССР) расположено в восточной части Саранского участка Карагандинского района, поле шахты «Саранская», приурочено к центральной и юго-западной его части названного участка.

Шахты «Шахтинская» и «Абайская» относятся к Шерубайнуринскому угленосному району, расположеному в западной части Карагандинского каменноугольного бассейна. Границами его являются: на западе Шерубайнуринский взброс, на севере и востоке – естественные выходы карбоновых отложений.

Угленосные карбоновые отложения суммарной мощностью около 4000 м по угленасыщенности, литологическому составу, фауне, флоре и другим признакам подразделяются на семь свит (снизу-вверх): аккудыкская, ащылыайрыкская, карагандинская, надкарагандинская, долинская, тентекская и шаханская. В карбоне продуктивны отложения карагандинской, долинской и частично ащылыайрыкской и тентекской свит. В этой толще насчитывается более 80 пластов и пропластков угля суммарной мощностью до 110 м. Мощности угольных пластов увеличиваются по бассейну с запада на восток, а в пределах каждого района с севера на юг [19, с.71; 20-24].

2.1 Стратиграфия

Карагандинский угольный бассейн в структурном отношении приурочен к западной части одноименного синклинория, вытянутого в широтном направлении. В строении принимают участие породы разнообразного возраста и происхождения.

Геологическое строение полей шахт имени Костенко, имени Т. Кузембаева и «Саранская»

Отложения *карагандинской свиты* (C_1krg) представляют наибольший интерес, так как вмещают рабочие пласты. Нижняя граница свиты проходит по почве пласта $к_1$, верхняя - по кровле $к_{20}$. В составе свиты преобладают песчаники и алевролиты, аргиллиты залегают в основном в кровле и почве угольных.

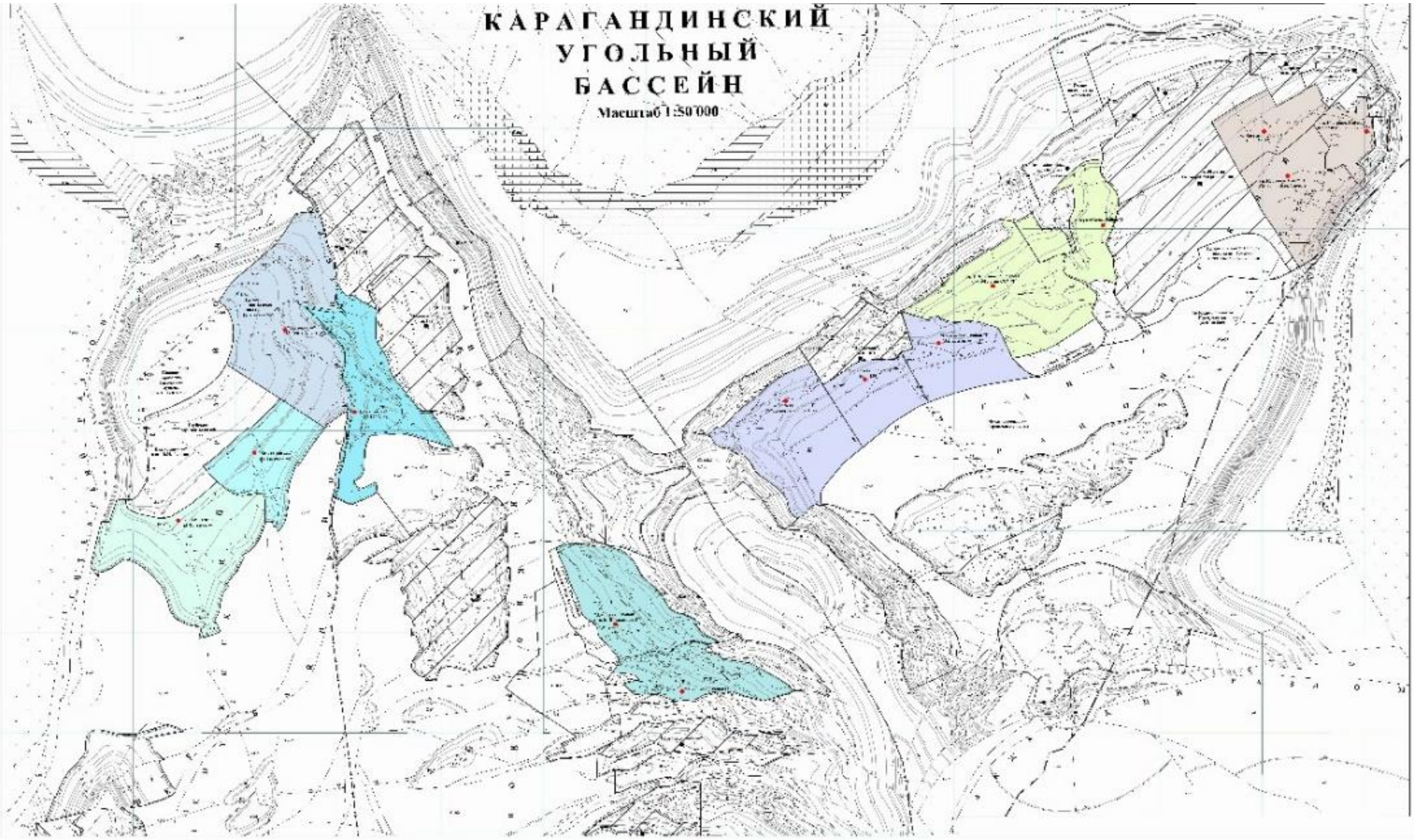


Рисунок 2.1 – Геологическая карта Карагандинского каменноугольного бассейна

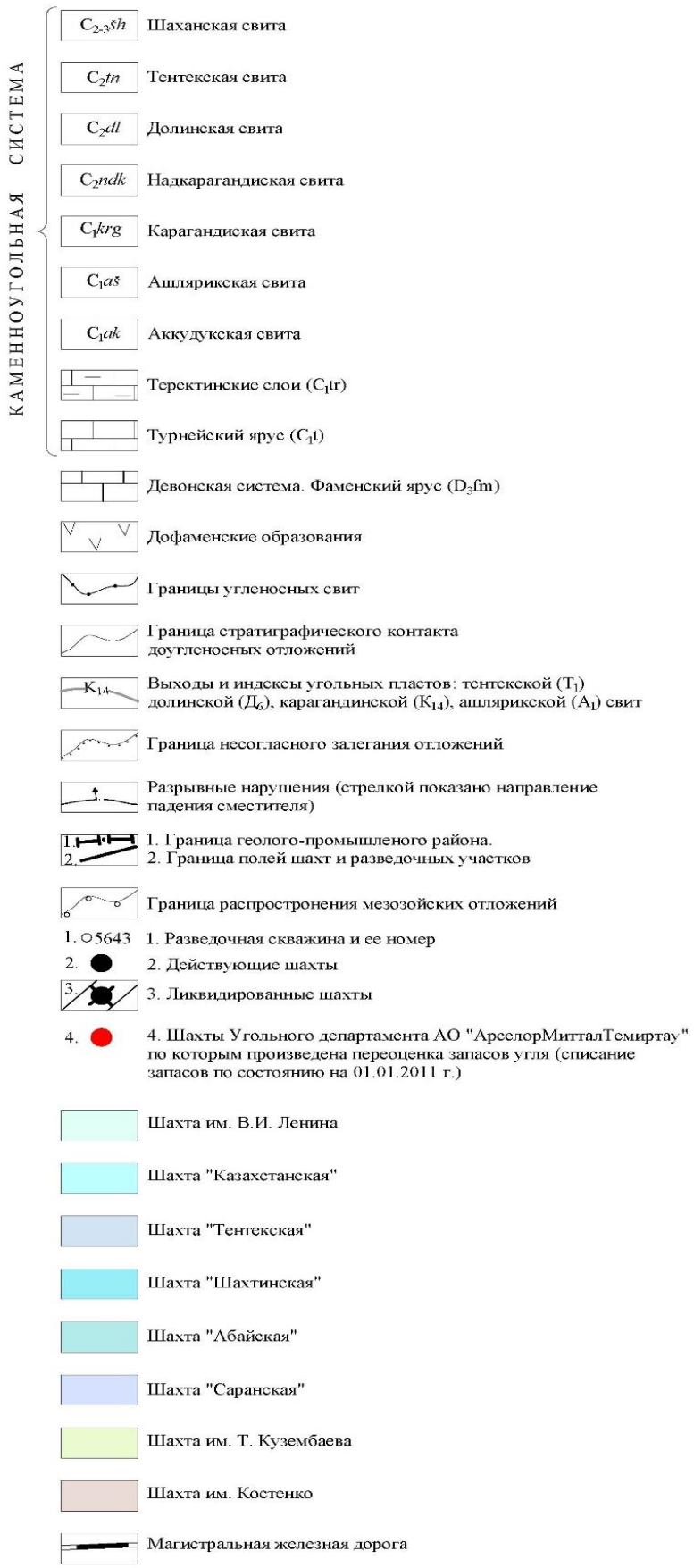


Рисунок 2.2 - Условные обозначения к геологической карте

В свите имеются четыре основных фаунистических горизонта, положение которых является маркирующим. Маркирующими являются также сближенные пласты $к_2$, $к_3$, пачка пятнистых аргиллитов («нарядная порода») над пластом $к_6$, наличие мергеля мощностью 2-5 м в кровле пласта $к_8$, 45-55-метровая толща тонко- и мелкозернистого песчаника зеленоватого цвета выше пласта $к_{14}$, два светлых пояска каолинизированного туфа в аргиллитах кровли пласта $к_{18}$.

Надкарагандинская свита характеризуется переслаиванием песчано-глинистых пород и тонких прослоев угля. Для этой свиты характерен общий зеленоватый оттенок; для аргиллитов и алевролитов – мелкая зеленоватая пятнистость, наличие тонких прослоев сидеритов, мергелей и окремненных пород. Для свиты характерно затухание углеобразования и только в нижней её части содержится несколько угольных пропластков некондиционной мощности. Мощность свиты на участке достигает 350 м.

На размытой поверхности угленосной толщи карбона залегают континентальные отложения *нижней* и *средней юры,* представленные михайловской, саранской, дубовской и кумыскудыкской свитами. Максимальная мощность этих образований достигает 300 м.

Саранская свита залегает с угловым несогласием на размытой поверхности палеозоя и имеет мощность от 5 до 100 м, возрастающую в юго-западном направлении. Представлена она рыхлыми конгломератами на песчано-глинистом цементе с галькой осадочных и эффузивных пород, рыхлыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами и линзами бурых углей.

Дубовская свита залегает согласно на саранской, имеет мощность до 140 м и представлена аргиллитами, алевролитами, тонко- и мелкозернистыми песчаниками, линзами и прослоями бурых углей.

Кумыскудыкская свита завершает разрез юрских отложений на участке и имеет мощность 88 м. Она представлена слабосцементированными конгломератами на песчано-глинистом цементе и рыхлыми песчаниками, которые в восточном направлении замещаются глинистыми разностями. Свита является водоносной.

Михайловская свита представлена нижней своей частью мощностью порядка 40 м, сложена алевролитами и аргиллитами.

Неогеновые отложения не имеют сплошного площадного распространения и залегают отдельными пятнами, представлены они пестроцветными, бурыми, плотными и вязкими глинами, содержащими гнезда гипса и кварцевую гальку. Мощность глин достигает 20-30 м.

Четвертичные отложения покрывают тонким слоем всю площадь участка и представлены покровными суглинками, супесями и тонкозернистыми глинистыми песками. Мощность их до 6 м.

Геологическое строение полей шахт «Абайская» и «Шахтинская»

Нижней границей *долинской свиты* (C_2dl) является почва пласта $д_1$, верхней - почва пласта $т_1$ тентекской свиты. Долинская свита вскрыта на полную мощность, равную 520 м. Отложения этой свиты залегают согласно на породах надкарагандинской свиты и представлены аргиллитами, алевролитами,

песчаниками (с преобладающим значением мелкозернистых разностей) и пластами каменного угля. В породах часто встречаются сидеритовые линзы и конкреции. Слоистость обычно тонкая горизонтальная, прерывисто горизонтальная.

По условиям образования породы относятся к озерной фации.

Свита содержит 13 угольных пластов и пропластков. Угольные пласты сближены между собой и разделяются на следующие три группы: нижнюю, среднюю и верхнюю.

В нижнюю группу входят пять тонких пластов $д_1$, $д_2$, $д_3$, $д_4$, $д_5$, расположенных в интервале 65-70 м. Породы, вмещающие угольные пласты: темные аргиллиты и алевролиты, песчаники имеют подчиненное значение.

Средняя группа включает три угольных пласта – $д_6$, $д_7$, $д_8$, расположенных в интервале 60 м, отделена от пласта $д_5$ 120-150-метровой безугольной толщей с 2-3 тонкими прослоями угля. Преобладающее значение в разрезе толщи занимают песчаники. Пласт $д_6$ - самый мощный (3-5 м) в разрезе долинской свиты. Пласт $д_7$ - в разрезе расположен в 45 м выше пласта $д_6$, а пласт $д_8$ - в 15 м выше пласта $д_7$. Расстояние между пластами $д_7$ и $д_8$ закономерно увеличивается по падению, в направлении с северо-востока на юго-запад от 5 м до 23 метров.

Среднюю и верхнюю группы пластов разделяют 90-100-метровая безугольная толща.

Верхняя группа представлена тонкими пластами $д_9$, $д_9^1$, $д_{10}$, $д_{11}$, расположенными в интервале 39 м. Пласты верхней группы по сравнению с пластами других групп менее выдержанны и на севере и на юге поля чаще отсутствуют. На месте этих пластов обычно находятся крупнозернистые серые песчаники со слабоокатанной галькой угля.

Верхняя часть долинской свиты (125 м) безугольная, сложена разнозернистыми серыми, голубоватыми песчаниками, алевролитами с подчиненным значением серых пятнистых аргиллитов, а также прослоями и горизонтом туфов.

Маркирующее значение в разрезе долинской свиты имеют угольные пласты, располагающиеся характерными группами, а также наиболее выдержанные пропластки $д_5^1$ и $д_6$, залегающие соответственно в 17-25 м выше пласта $д_5$ и в 30-40 м ниже пласта $д_6$. Пропласток $д_5^1$ обычно сопровождается фаунистическим горизонтом $Д_1$, представленным филлоподами и острокодами. Маркирующее положение в разрезе занимает прослой светло-серого, иногда с розовым оттенком, кристаллического туфа, мощностью до 1,0 м, находящийся в 70-75 м над пластом $д_{11}$.

Тентекская свита (C_2tn) на площади поля бывшей шахты 17-17^{бис} имеет ограниченное распространение. Мощность сохранившейся нижней части свиты не превышает 55 м. В этой части свиты вскрыты угольные пласты $т_1$, $т_2$ и $т_3$. Породы, слагающие тентекскую свиту, представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами.

Геологическое строение полей шахт имени В.И. Ленина, «Казахстанская» и «Тентекская»

Литологический состав *тентекской свиты* (C_2tn) довольно резко отличается от отложений нижележащей долинской свиты: заметно увеличивается количество песчаников, породы имеют более светлый оттенок, иногда зеленоватый, отмечено несколько горизонтов туффитов, сохранность заключенных растительных остатков плохая.

Фауна филлопод в тентекской свите встречается по всему разрезу, но чаще между пластами $т_5$-$т_6$, $т_9$-$т_{11}$, $т_{15}$-$т_{17}$.

Для угольных пластов тентекской свиты характерно частое переслаивание угля с листоватыми углистыми породами, среди которого встречаются прослои белого каолинита. Строение и мощность угольных пластов изменчивое, выделение рабочей мощности возможно лишь на небольших площадях. Наиболее устойчивыми являются пласты: $т_1$, $т_3$, $т_5$,$т_9$, $т_{15}$ и $т_{17}$.

Угольные пласты тентекской свиты, за исключением $т_1$ и $т_3$ – высокозольные, сложены преимущественно листовато-пластинчатым полуматовым, полублестящим и отчасти блестящим углем.

Маркирующими в свите являются лишь наиболее устойчивые и мощные сложные пласты, занимающие определенное положение в разрезе ($т_1$, $т_3$, $т_5$, $т_9$, $т_{15}$, $т_{17}$), а также туфовый горизонт кварцевого порфира, залегающий в 60-70 м над пластом $т_{15}$.

Мощность тентекской свиты равна 540-570 м.

Шаханская свита ($C_{2\text{-}3}šh$) имеет ограниченное распространение. В разрезе залегает нижняя ее часть, сложенная неслоистыми аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками. Мощность свиты до 230 м.

Кайнозойские отложения мощностью до 90 м представлены главным образом глинами аральской и павлодарской свит. В основании глин иногда отмечаются палеогеновые пески мощностью не более 10 м. Приурочены они к пониженным участкам в рельефе палеозоя.

Четвертичные образования имеют небольшую мощность (не более 10 м), представлены аллювиальными песками, супесями и суглинками элювиального, делювиального и пролювиального происхождения [19, с.71].

2.2 Тектоника

Карагандинский угольный бассейн в тектоническом отношении расположен в средней части широтно вытянутого синклинория, который располагается в зоне сочленения областей каледонской (на севере) и герцинской (на юге) складчатости. Карагандинский синклинорий был расчленен меридиональными разрывными нарушениями на отдельные блоки, представляющие собой грабен-синклинали, разделенные глубоко размытыми поднятиями. Карагандинский угольный бассейн расположен в средней части синклинория. В пределах бассейна выделяются три крупные синклинали: Шерубайнуринская, Карагандинская и Верхне-Сокурская, отделенные друг от друга поднятиями почти меридионального простирания.

Тентекский и Шерубайнуринский угленосные районы расположены в пределах Шерубайнуринской синклинали, которая занимает крайнюю западную часть Карагандинского угольного бассейна.

Тентекский угленосный район приурочен к Тентекской брахисинклинальной складке, расположенной в северо-западной части Шерубайнуринской синклинали. Длинная ось складки простирается с юго-запада на северо-восток на 15 км. Южное и восточное крылья складки – пологие с углами 5-20°, северное – наклонное до крутого (35-40°), а западное – почти вертикально залегающее. На западе Тентекская синклиналь обрезается Тентекским разломом, а на востоке – Шерубайнуринским взбросом.

Максимальная глубина погружения осадочных пород равна 2500 м.

В пределах Шерубайнуринской синклинали Тентекский угленосный район (рассматриваемые шахтные поля «Казахстанская», имени Ленина, «Тентекская») выделяется как участок, где угленосные образования имеют сравнительно спокойное залегание.

Дизъюнктивные нарушения приурочены главным образом к восточному крылу складки. По мере удаления от восточного крыла к центральным частям мульды, разрывные нарушения постепенно затухают и в центре мульды, лишь на глубоких горизонтах местами отмечаются разрывы небольших амплитуд. Преобладающим типом нарушений являются косые согласные взбросы. Пликативные дислокации почти отсутствуют.

Шерубайнуринский угленосный район расположен во внутренней части и северо-восточном крыле Шерубайнуринской синклинали, которое одновременно является юго-западным крылом Алабасской антиклинали, который разделяет Шерубайнуринскую и Карагандинскую синклинали.

Наиболее сложными по строению является южная и восточная части синклинали. Структура восточной части, к которой приурочено поле шахты «Шахтинская» (бывшая шахта $17/17^{бис}$), расположенное на площади так называемой Долинской мульды, определяется распространением разрывных нарушений и достаточно хорошо развитой складчатостью.

Среди разрывных нарушений преобладают согласные меридиональные или субмеридиональные взбросы, падающие на запад или юго-запад. Амплитуды их различны: от первых метров до сотен метров. Немногочисленные широтные дизъюнктивы являются, как правило, шарнирными, с быстро затухающими амплитудами. Падают они за редким исключением, на юг и юго-запад. Пликативные формы представлены пологими синклинальными и антиклинальными складками, ориентированными в основном в субмеридиональном направлении и осложнены многочисленными разрывами.

Наиболее значительные по амплитуде и протяженности разрывные нарушения образуют крупные тектонические блоки, являясь часто естественными границами приуроченных к блокам шахтных полей.

Восточная часть, к которой приурочено поле шахты «Абайская», характеризуется на большой части площади пологим, под углами 10-25° залеганием угленосной толщи и только в северной части поля, углы падения

возрастают до 45°. Увеличение углов падения связано с разрывными нарушениями взбросового типа. Моноклинальное залегание угленосной толщи осложнено взбросами и поперечной дополнительной складчатостью. В юго-западной части участка вторичная складчатость проявляется пологими поперечными складками. Простирание их осей близко к широтному и совпадает с направлением поперечных взбросов. Ширина поперечных складок составляет 300-600 м, крылья складок пологие, симметричные.

Карагандинская синклиналь, в пределах которой расположен *Карагандинский угленосный район*, занимает среднюю часть Карагандинского бассейна.

Северо-западное крыло синклинали, где расположены шахты имени Костенко, имени Т. Кузембаева, «Саранская» характеризуется сравнительно простым строением и выдержанным восток-северо-восточным простиранием.

Северо-западное пологопадающее крыло синклинали имеет общее северо-восточное простирание с падением на юго-восток под углом 10-15°. В северо-восточной части участка в районе замыкания синклинали, простирание угленосной толщи постепенно меняется с северо-восточного на восточное. Углы падения на выходах, соответственно, возрастают от 10-15 до 70°. Шарнир синклинали (по почве пласта $к_1$) погружается в направлении с северо-востока на юго-запад, максимальная глубина погружения его составляет 1200 м.

Юго-восточное крыло синклинали, в отличие от северо-западного, имеет более крутое залегание. На поле бывшей шахты «Карагандинская» общее простирание угленосной толщи близко к меридиональному, а вблизи южной границы шахты оно меняется на юго-западное и это направление сохраняется далее на всем смежном поле бывшей шахты «Стахановская», вплоть до западной границы участка. На верхних горизонтах этого крыла углы падения пластов составляют 85-70°, затем они резко выполаживаются до 15-10°, а в замковой части синклинали не превышают 2-5°.

Разрывные нарушения широко развиты на юго-восточном крыле Карагандинской синклинали, на северо-западном пологопадающем крыле их мало и эта площадь в тектоническом отношении является простой.

Поле шахты имени Кузембаева в структурном отношении приурочено к центральной части северо-западного крыла Карагандинской синклинали. Угленосная толща в пределах участка характеризуется общим северо-восточным простиранием с падением на юго-восток под углом 10-20°.

Поле названной шахты занимает значительную часть тектонического блока, ограниченного крупными дизъюнктивными нарушениями. Блок осложнен дизъюнктивной и пликативной нарушенностью. Складчатость интенсивно проявляется в пределах всего участка, но наиболее четко выражена в центральной, южной и северо-восточной частях. Разрывные нарушения приурочены в основном к крыльям складок.

Северо-западное крыло синклинали, на котором расположено поле шахты «Саранская», имеет в среднем выдержанное северо-восточное простирание 60°, падение на юго-восток под углом 10-15°. На юго-западе крыло почти под прямым

углом сопрягается с юго-западным крылом синклинали, в которое переходит верхняя часть разреза (включая пласт $к_7$) карагандинской свиты.

Юго-западное крыло Карагандинской синклинали имеет относительно спокойное залегание. Простирание его юго-восточное 130-140°, падение на северо-восток под углом 30-40°.

Дополнительные складки на обоих крыльях синклинали имеют незначительные размеры и расплывчатые очертания (плохо выраженные замки), вследствие чего складчатость крыльев правильнее назвать волнистостью.

Большинство дополнительных складок относятся к флексурам. По ориентировке осей складки разделяются на продольные, поперечные и диагональные. Продольные складки являются типичными флексурами. Обычные их размеры достигают в поперечнике 10-30 м, по простиранию 150-300 м.

Поперечные складки характеризуются перпендикулярным положением осей к господствующему простиранию пород и чаще имеют симметричную или почти симметричную форму. Очертания их как в плане, так и в вертикальных сечениях имеют нечеткий расплывчатый характер.

Диагональные складки, в отличие от продольных и поперечных, в единичных случаях имеют вытянутые по оси формы с четкими контурами замков. В большинстве же случаев, диагональные складки представляют собой не полностью резвившиеся складки – флексуры с плохо выраженными замками. Вытянутые формы диагональных складок развиты в северо-восточной части оцениваемой площади. Шарниры всех диагональных складок погружаются на восток или юго-восток. На крыльях дополнительных складок всех размеров почти всегда располагаются складки более мелких порядков [19, с. 75].

2.3 Угленосность

В таблице 2.1 приведены данные, по каким пластам числятся запасы угля на Государственном балансе и по каким предлагается списание запасов или перевод в забалансовые запасы. На основании выполненной переоценки запасов угля были оставлены на балансе шахт запасы угля, прилегающие к охранным целикам под объекты на поверхности и капитальные горные выработки для совместной отработки с целиками при ликвидации шахты, в количестве 10516 тыс. т; списаны с баланса запасы угля, залегающие выше вентиляционного горизонта, расположенные на участках крутого залегания пласта (38°-59°) выше контура отработки, в обособленных тектонически нарушенных изолированных блоках, участках, осложненных мелкой складчатостью, в зонах нарушений, местах замещения угля породой, затопленных участках, в труднодоступных участках со сложной конфигурацией погашенных нарезных лав, участках изрезанных горными выработками, в количестве 127644 тыс. т; переведены в забалансовые запасы угля, залегающие на участках крутого залегания пласта и ранее не вовлеченные в отработку по пластам $д_{11}$, $д_{10}$, $д_9$, ниже горных работ пласта $д_7$ в сложных горно-геологических условиях, в количестве 34633 тыс. т угля.

Таблица 2.1 – Перечень пластов, запасы которых предлагаются к списанию и переводу в забалансовые

Наименование шахты	Марка угля	Пласты, запасы которых числятся на Государственном балансе	Пласты, запасы которых предлагаются к списанию и переводу в забалансовые
1	2	3	4
Карагандинский угленосный район			
Им. Костенко	1Ккокс	$к_6$, $к_9$, $к_{10}$	$к_{10}$
	1КОкокс	$к_6$, $к_7$, $к_9$, $к_{10}$, $к_{12}$, $к_{13}$, $к_{18}$	$к_{18}$, $к_{13}$, $к_{12}$в.сл., $к_{12}$н.сл., $к_{10}$, $к_7$
Им. Костенко	2КОкокс	$к_1$, $к_7$, $к_{12}$н.сл.	$к_{12}$н.сл.
	КЖ	$к_4$	
	1К	$к_2$, $к_3$, $к_4$	
	1КО	$к_{14}$	$к_{14}$
	2КО	$к_1$, $к_{12}$в.сл.	$к_{12}$в.сл.
	КСНкокс	$к_{12}$н.сл.	
	КСН	$к_{12}$в.сл.	
Им.Т.Кузембаева	1К	$к_{20}$, $к_{15}$, $к_{11}$, $к_{10}$в.сл., $к_8$, $к_7$, $к_4$, $к_3$	
	1Ккокс	$к_{18}$, $к_{10}$н.сл., $к_9$, $к_{8-7}$, $к_8$, $к_7$	$к_{8-7}$, $к_7$
	1КО	$к_{14}$	
	1КОкокс	$к_{14}$, $к_{13}$	
	2КО	$к_{12}$в.сл., $к_{10}$в.сл., $к_2$	
	2КОкокс	$к_{12}$н.сл., $к_{10}$н.сл., $к_8$	
«Саранская»	1Ккокс	$к_{18}$, $к_{13}$н.сл., $к_{11}$, $к_{10}$	$к_{10}$
	2КОкокс	$к_{12}$н.сл., $к_{10}$, $к_7$	$к_{12}$н.сл., $к_{10}$, $к_7$
	1К	$к_{20}$, $к_{19}$, $к_{15}$, $к_{14}$, $к_{13}$в.сл., $к_9$	
	1КО	$к_{12}$	
	2КО	$к_{14}$, $к_{12}$в.сл.	$к_{12}$в.сл.
Шерубайнуринский угленосный район			
«Абайская»	2Ккокс	$к_{18}$, $к_{14}$, $к_{12}$, $к_{11}$	$К_{18}$
	2КСкокс	$к_{12}$н.сл., $к_{12}$, $к_{10}$	$к_{12}$н.сл.
	1ОСкокс	$к_{16}$, $к_{13}$, $к_{12}$, $к_{11}$, $к_{10}$н.сл., $К_8$, $к_7$	$к_{13}$, $к_{10}$н.сл., $к_7$
	2КС	$к_{12}$в.сл.	$к_{12}$в.сл.
	2К	$к_{14}$, $к_{12}$	
	1ОС	$к_{10}$в.сл.	$к_{10}$в.сл.
«Шахтинская»	КЖкокс	$д_{10}$, $д_6$, $д_5$, $д_4$, $д_2$, $д_1$	$д_{10}$, $д_6$
	2Жкокс	$д_{11}$, $д_9$	$д_{11}$, $д_9$
	2КОкокс	$д_7$	$д_7$

Продолжение таблицы 2.1

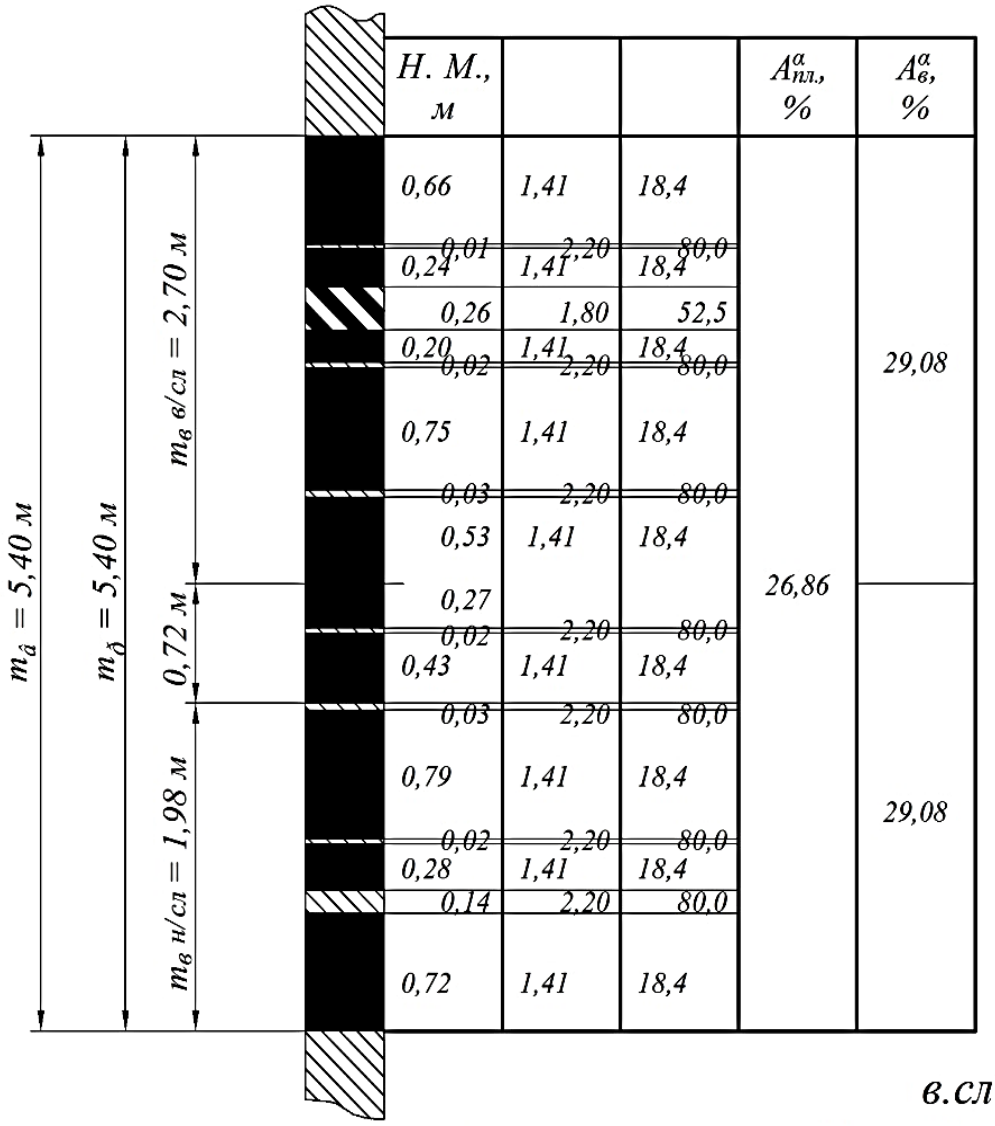
1	2	3	4
Тентекский угленосный район			
«Казахстанская»	КЖкокс	$т_3$, $д_{10}$, $д_9$, $д_6$, $д_4$, $д_3$, $д_1$	$д_{10}$, $д_9$, $д_6$
	КЖ	$д_8$	
	2Жкокс	$т_3$, $т_1$, $д_{11}$, $д_9$	$т_1$, $д_{11}$, $д_9$
	1Ккокс	$д_6$, $д_5$	$д_6$
	2Ккокс	$д_6$, $д_5$, $д_4$, $д_3$, $д_2$, $д_1$	
им. Ленина	КЖкокс	$д_{10}$, $д_9$, $д_6$, $д_5$, $д_3$	$д_{10}$, $д_9$, $д_6$
	1Ккокс	$д_3$	
	2Ккокс	$д_5$, $д_4$, $д_1$	
«Тентекская»	1Жкокс	$т_3$	
	2Жкокс	$т_3$, $т_1$, $д_{11}$, $д_{10}$, $д_9$, $д_6$, $д_4$	$т_1$
	КЖкокс	$т_3$, $д_{10}$, $д_9$-$д_{11}$, $д_6$- $д_1$	$д_6$
	1Ккокс	$д_7$	
	2Ккокс	$д_7$, $д_6$, $д_5$, $д_4$, $д_3$, $д_{1-2}$	
	2ГЖО	$т_{17}$	
	2Ж	$т_{14}$- $т_5$	

Промышленная угленосность оцениваемых полей шахт связана с отложениями карагандинской, долинской и тентекской свит карбонового возраста. В отложениях карагандинской свиты выделяется 20 угольных пластов, из них промышленное значение имеет 16 пластов: $к_{20}$, $к_{18}$, $к_{19}$, $к_{15}$, $к_{14}$, $к_{13}$, $к_{12}$ н.сл., $к_{12}$ в.с., $к_{11}$, $к_{10}$, $к_9$, $к_8$, $к_7$, $к_4$, $к_3$, $к_2$, $к_1$.

Пласты выдержанные и относительно выдержанные, средние мощности их от 0,7 до 7,50 м. В долинской свите выделено 10 промышленных угольных пластов $д_1$-$д_7$, $д_9$-$д_{11}$. Угольные пласты невыдержанные, относительно выдержанные и выдержанные. Преобладающие мощности пластов от 0,70 до 2,50 м и только пласт $д_6$ имеет мощность от 4,70 до 6,30 м (рисунок 2.3). В отложениях тентекской свиты три промышленных угольных пласта: $т_1$, $т_3$, $т_{17}$. Пласты невыдержанные, в основном тонкие мощностью от 0,79 до 2,54 м.

Залегание угольных пластов самое разнообразное, от пологого до опрокинутого. На шахтных полях широко развиты разрывные тектонические нарушения. До глубин 15-30 м на всех полях шахт развита зона окисленных негодных углей, запасы которых не считались. По сложности геологического строения поля шахт имени Костенко и «Саранская» отнесены к первой группе, остальных шахт – ко второй группе [19, с. 78].

Масштаб 1:50



			в.сл.	н.сл.
$m_р$, м	-	5,40	2,70	1,98
$m_{у.п.}$, м	-	4,87	2,38	1,80
$m_{пор}$, м	-	0,53	0,32	0,18
$m_в$, м	-	5,40	2,70	1,98
$A^{d}_{ïë}$,%		26,86	29,08	26,71
$A^{d}_{ýêñ}$,%		26,86		
$d_в$,т/м^3	-	1,50	1,52	1,50
$П_м$,%	-	0,4(14,7)	-	-
$K_{зас.}$	-	1,17	1,22	1,17

Рисунок 2.3 – Структурная колонка пласта $д_6$ (в качестве примера)

Выводы по главе 2

В структурном и тектоническом отношениях, характерной чертой бассейна является четко выраженная зональность фаций, обусловленная принадлежностью северной части района к областям каледонской складчатости, южная часть характеризовалась тектоническим режимом на протяжении всего герцинского цикла. К зоне сочленения этих областей приурочена мощная серия вулканогенных пород девона. Разрез фаменского и турнейского ярусов сложен карбонатными породами незначительной мощности. Выше располагается мощный разрез угленосной формации среднего и верхнего палеозоя. Более поздние континентальные образования представлены угленосными юрскими, а также кайнозойскими отложениями. Дофаменские породы прорваны серией интрузивных образований.

В геологическом строении полей шахт имени Костенко, имени Т. Кузембаева и «Саранская», расположенных в Карагандинском геолого-промышленном районе, принимают участие отложения четвертичного, неогенового, юрского возраста и продуктивные отложения карбона, представленные нижней частью надкарагандинской свиты мощностью до 350 м и всей карагандинской свитой мощностью 620-650 м.

Шахты «Абайская» и «Шахтинская» расположены в Шерубайнуринском угленосном районе, сложены отложениями карбонового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов.

На поле шахты «Абайская» (объединена с бывшей шахта имени Калинина) палеогеновые отложения развиты только в западной части участка. Вскрытые на поле шахты карбоновые отложения сложены породами нижней части надкарагандинской и средней и верхней подсвитами карагандинской свит.

Карбоновые отложения на поле шахты «Шахтинская» (бывшая шахта $17/17^{бис}$) сложены породами долинской и частично тентекской свит карбонового возраста.

Шахты имени В.И. Ленина, «Казахстанская» и «Тентекская» расположены в Тентекском угленосном районе.

В геологическом строении района принимают участие породы аккудыкской, ащылыайрыкской, карагандинской, надкарагандинской, долинской, тентекской и шаханской свит карбонового возраста. Эти отложения образуют крупную асимметричную синклинальную складку, осложненную дополнительными пликативными и дизъюнктивными нарушениями.

Вскрытая на шахтах «Казахстанская», имени В.И. Ленина, и «Тентекская» часть разреза сложена породами долинской, тентекской и низами шаханской свит, кайнозойскими и четвертичными отложениями.

Для развития горных работ на глубоких горизонтах (до 1200 м) нужно обеспечить устойчивость кровли горных выработок, которая зависит от нескольких факторов. Основным условием необходимым для решения проблемы устойчивости наряду с геологическим строением, являются знания о физико-механических свойствах углевмещающих пород.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью определения влияния горно-геологических условий эксплуатации месторождения в процессе исследования будут проводиться инженерно-геологическое изучение шахтных полей бассейна.

Для определения физико-механических свойств пород по всем литологическим разновидностям опробованы скважины № 6 (глубина 608,10 м) – количество проб 40, образцов 138, № 16 (глубина 597,25 м) – количество проб 15, образцов 59. Опробование проводилось выше кровли пластов в десятикратной мощности. Изготовлены шлифы из проб в количестве 22 штуки. Отобраны 10 монолитных проб из горных выработок шахт. Обработаны каротажные диаграммы по 92 разведочным скважинам.

Программа инженерно-геологических исследований была проведена по отдельным пробам в соответствии с международными принятыми стандартами и в сертифицированных лабораториях «Инновационная геолого-минералогическая лаборатория» (г. Алматы), «Центргеоланалит» (г. Караганды), «State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing)» (КНР, г. Пекин).

Для определения основных показателей, влияющих на устойчивость пород кровли угольных пластов Карагандинского бассейна, были проведены комплексные исследования [25, 26]. Целевым назначением исследований было:

– наблюдение за поведением кровли угольных пластов в очистных выработках;

– микроскопические исследования пород кровли угольных пластов;

– изучение физико-механических свойств углевмещающих пород;

– изменение прочностных свойств пород кровли разрабатываемых угольных пластов.

Проведение лабораторных исследований керна с целью определения физико-механических свойств углевмещающих пород системой тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100) и машиной для определения пористости, построенной SKL в «Отделе физико-механических испытаний горных пород» – плотность, пористость, сила на сжатие и растяжение, упругие константы, такие как модуль массы, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и модуль сдвига (жесткость). Получение скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн; изучение степени метаморфизма с помощью микрофотометра Leitz 307-107.002 в «Отделе микроскопических исследований»; геологическое и сейсмическое моделирование по экспериментальным данным с использованием скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн на базе программного обеспечения VMware Workstation Pro в системе Linux, построение числовой модели на базе программы MATLAB 2018.

3.1 Натурные наблюдения в горных выработках

Физико-механические свойства, определенные по очистным выработкам, приведены в таблице 3.1. Лабораторные методы по определению физико-механических свойств проводилось согласно государственным стандартам.

Угольный пласт $т_1$ вскрыт квершлагами № 3 и № 5, шурфами, уклонами №№ 1, 2, 3. Натурные наблюдения проведены по породам кровли и почвы пласта с общей протяженностью более 5000 п.м.

Непосредственную кровлю пласта $т_1$ составляют темно-серые, неустойчивые аргиллиты, на контакте с угольными пластами наблюдаются прослойки угля. Среднее значение пределов прочности на сжатие и растяжение по пробам аргиллитов составляет 132 кг/см^2 и на растяжение 16 кг/см^2.

Таблица 3.1 – Средние значения физико-механических пород и углей по горным выработкам

Интервалы глубин, м	Наименование пород	Физико-механические свойства					
		$\sigma_{сж.}$ кг/см^2	$\sigma_{р.}$ кг/см^2	W, %	Уд.вес, г/см^3	q г/см^3	П, %
Кровля пласта $т_1$	Аргиллит	132	16	3,3	2,54	2,38	17,7
	Алевролит	227	19	2,9	2,67	2,43	11,6
	Песчаник	333	24	3,0	2,68	2,44	11,3
Пласт $т_1$	Уголь	47	3	1,7	1,43	1,32	7,8
Почва пласта $т_1$	Аргиллит	135	12	4,5	2,64	2,39	13,9
	Алевролит	274	23	3,9	2,68	2,45	12,5
	Песчаник	519	35	2,9	2,72	2,51	10,1
Межпластье $т_1$-$д_{11}$	Аргиллит	106	-	3,4	2,72	2,47	12,0
	Алевролит	278	24	3,0	2,67	2,47	10,2
	Песчаник	489	48	1,7	2,71	2,51	9,4
Кровля пласта $т_1$	Аргиллит	103	17	3,4	2,65	2,43	11,2
	Алевролит	140	-	3,0	2,62	2,47	9,5
	Песчаник	407	36	1,4	2,63	2,48	6,8
Пласт $д_6$ верхний слой	Уголь	61	-	0,8	1,44	1,28	8,8
Пласт $д_6$ нижний слой	Уголь	32	-	0,9	1,37	1,29	5,4
Почва пласта $д_6$	Аргиллит	221	26	3,5	2,60	2,42	10,2
	Песчаник	337	31	2,7	2,70	2,53	8,9
Межпластье $д_6$-$д_5$	Аргиллит	84	1	3,0	2,69	2,45	12,1
	Алевролит	233	20	3,3	2,71	2,48	11,3
	Песчаник	559	52	1,3	2,74	2,57	7,2

По пробам алевролитов непосредственной кровли пределы прочности на сжатие до 495 кг/см^2, на растяжение - 29 кг/см^2.

По наблюдениям кровля пласта $т_1$ неустойчивая и слабоустойчивая, которая представлена слабыми аргиллитами. Небольшую часть шахтного поля представляют среднеустойчивая алевролитовая кровля, местами встречается труднообрушаемая кровля из песчаников. При ведении горных работ произошло

семь вывалов пород кровли высотой 0,4-1,2 м, длиной около 15 м. Угольный пласт $т_1$ слабо обводнен.

Угольный пласт $д_6$ вскрыт квершлагами № 6, 7. В кровле пласта залегают темно-серые аргиллиты мощностью не более 0,2 м и представляют непосредственную кровлю. Пределы прочности на сжатие и растяжение по горным работам соответственно составляют 103 кг/см^2 и 17 кг/см^2.

Ложная непосредственная кровля из аргилитов имеет почти повсеместное распространение, алевролитовая кровля средней устойчивости охватывает не большую площадь, кровля из песчаников встречается очень редко. Пласт $д_6$ слабообводнен, но вполне достаточно чтобы вызвать пучение почвы.

Почвы угольных пластов представлены слабыми аргиллитами, средней устойчивости алевролитами и труднообрушаемыми песчаниками, последние встречаются не повсеместно.

При ведении горных работ деформировались крепления механизированных крепей, ломались затяжки, выгибались стойки.

3.2 Лабораторные исследования керна с целью определения физико-механических свойств пород кровли угольных пластов

Определение механических свойств и упругих констант углевмещающих пород с помощью системы тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), программное обеспечение GCTS CATS Ultrasonics 1.81 (рисунок 3.1).

Трехосный элемент высокого давления GCTS с гидравлическим приводом подъем / блокировка для быстрой, простой и безопасной работы. Идеально подходит для производственных испытаний, грузоподъемность до 1500 кН (340 тысяч фунтов), жесткость до 10000 кН / мм (50x106 фунтов / дюйм), большая грузоподъемность доступна по запросу цифрового сервоуправление с обратной связью, интегрированная панель ограничения и давления пор с двойным усилителем. Давление до 140 МПа (20 тыс.фунтов / кв.дюйм), 24 линии электропитания (6 разъемов) для внутренние приборы, такие как тензодатчики, LVDTs, термопары, скорость ультразвука и датчики акустической эмиссии.

Трехосные системы GCTS Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000) обычно работают с пакетом цифрового управления сервоприводом и сбора данных, который включает в себя программное обеспечение для тестирования Windows (98/2000/NTIXP) и цифровой системы формирования сигнала. Автоматический гидравлический подъемник и выдвижная база для трехосной ячейки включены в эту систему для быстрой и легкой настройки образца. Быстрая сборка/разборка ячейки достигается за счет толчка одной кнопки.

Рисунок 3.1 – Определение физико-механических свойств пород на машине системы тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000). На фото автор проводит исследования

Ультразвуковое тестирование широко используется для изучения упругого поведения геологических материалов. Оно является неразрушающим и обеспечивает информацию о скоростях поперечных (S) и продольных (P) волн, которые могут быть использованы при вычислении динамических констант упругости, такие как коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модуль массы и модуль сдвига (жесткость). Экспериментальные данные использованы при сопоставлении данных полученных по созданной геолого-геофизической модели и при разработке сейсмических методов для определения геологических структур в кровле угольных пластов [10, с. 1999] и для получения попутного метана [27].

В результате трехосного испытания песчаников кровли угля при различных давлениях (от 2 до 20 МПа) на машине системы тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000) были получены следующие данные. Курсивом указаны ручной расчет для поверки (Приложение А) [28].

Пористость. Определение пористости, основано на методе Закона Бойля. Сущность данного метода заключается в гиперболической зависимости при постоянной температуре (T) между давлением между давлением (P) и объемом

P

V

Основывась на данном принципе сложением объема зерен (Vgr) и объема пор (Vp) определяется общий объем пор (Vb) породы: T

Прежде чем проводить любые эксперименты образцы пород моют, очищают и высушивают, затем помещают в камеры прибора для заполнения пор идеальным газом или атмосферным воздухом (нами был использован гелий, так как он по своим свойствам более близко соответствует идеальному газу). В одной из камер давление воздуха поднимается до максимума, затем распределяют воздух с высоким давлением между двумя камерами. Результаты, измеренные с помощью манометра, выводятся на компьютере. По новому объему, занимаемому газом, можно рассчитать значение объема порового пространства, по которому определяется общий объем образца в соответствии с размером керна. Эффективность данного метода заключается в быстром и точном определении пористости, а также он является не разрушающим, можно использовать образцы пород для дальнейшего испытания [29].

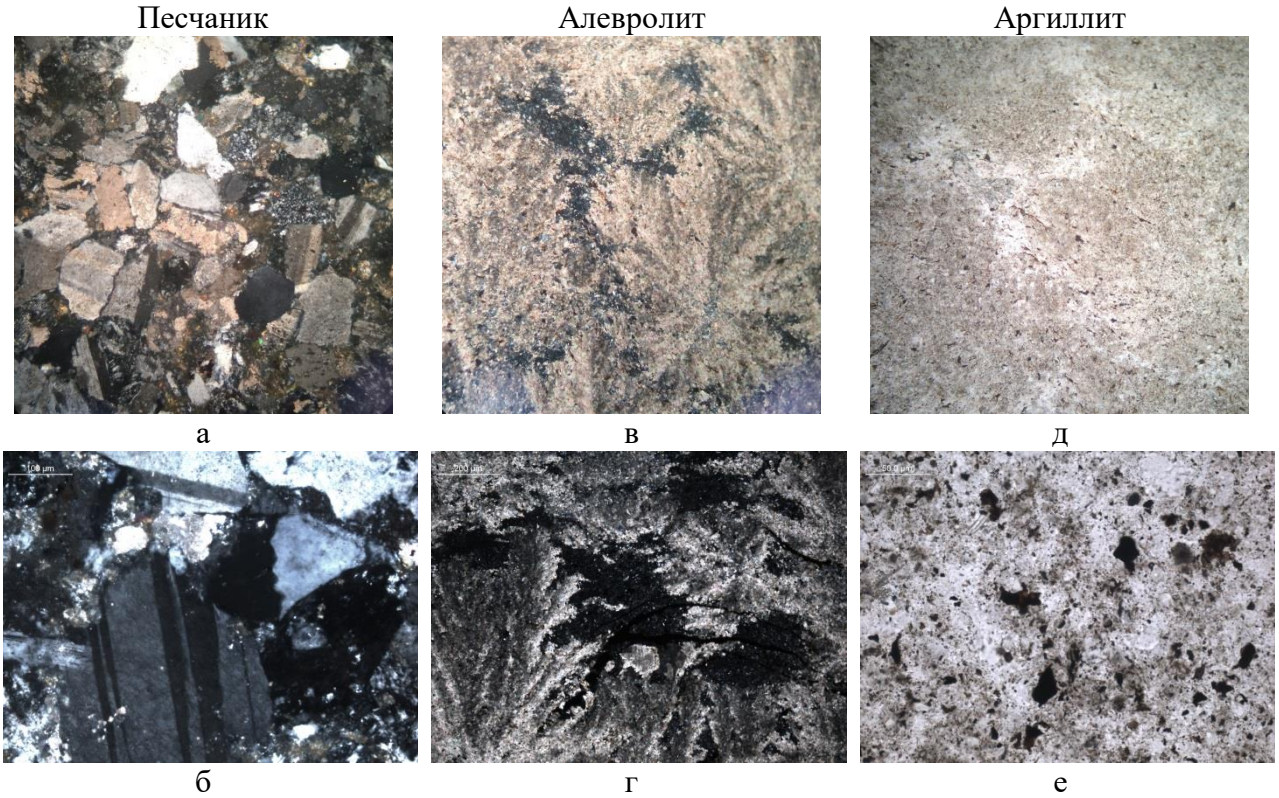
Результаты определения пористости представлены в приложении Б.

3.3 Микроскопическое исследование углевмещающих пород

В межкафедральной лаборатории «Инновационная геолого-минералогическая лаборатория» (КазНИТУ, г. Алматы) на микроскопе ПОЛАМ Л-213М и «State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing)» (КНР, г. Пекин) на микроскопе Leica DM2700 проведены петрографические исследования с целью определения состава и структурно-текстурных особенностей.

Поляризационные микроскопы имеют две призмы Николя (или поляроидов), что позволяют исследовать минералы в поляризованном свете и определять их оптические свойства, такие как изотропный или анизотропный, показатели преломления, величину двупреломления, оптическую ориентировку и осность, а также ряд других свойств для определения минерального состава пород.

Ниже на рисунке 3.1 приведены снимки пород под микроскопом. Полимиктовые песчаники (рисунок 3.2 а, б) имеют серый, светло-серый цвет, в составе выявлены кластический материал эффузивных, осадочных, реже метаморфических горных пород. Минеральный состав песчаников составляет полевые шпаты (плагиоклазы), кварц. Алевритовые породы (рисунок 3.2 в, г) имеют повсеместное распространение и встречаются во всех толщах. По составу аналогичны с песчаными породами. Пелитовые породы (рисунок 3.2 д, е) имеют в составе каолинит, гидрослюды, монтмориллонит. В алевролитах и аргиллитах часто встречаются углистое вещество (на снимках в виде черных пятен). Подробное описание углевмещающих пород приведены в главе 4.



а, в, д – снимки, полученные в Межкафедральной лаборатории ИГМЛ КазНИТУ; б, г, е – снимки, полученные в SKL (КНР, Пекин)

Рисунок 3.2 – Микроскопическое исследование углевмещающих пород

3.4 Изучение отражательной способности витринита в угле в «Отделе микроскопических исследований» с помощью микрофотометра Leitz 307-107.002

Степень метаморфизма углей является качественным показателем физико-механических свойств пород, которая определяется по отражательной способности витринита. Для восстановления геологической истории развития и глубины и длительности погружения, отражающая постдиагенетические изменения отложений в качестве инструмента «геологического термометра» был использован углепетрографический метод [30].

Применение данного метода позволяет раскрыть вещественный состав и метаморфизм углей, прогнозировать физико-механических свойств. Зависимость между физико-механическими свойствами и петрографическими свойствами, степенью метаморфизма определяет геологические основы формирования состава и свойств и дает количественную характеристику.

Оптическое свойство витринита объясняется отношением интенсивности отраженного света от полированной поверхности шлифа к интенсивности света вертикально падающего. Данный показатель для составляющих угля разный.

В качестве показателя степени метаморфизма применяется отражательная способность витринит [31]. Максимальным значением обладают составляющие инертинитовой группы, минимальным значением – липтинитовая. Степень

метаморфизма была изучена на основе показателя отражательной способности витринита R_0 в иммерсионной среде. Определение степени метаморфизма угле и классификация углей проводится согласно стандартам ГОСТ 25543-88, ГОСТ 12113-94, ASTM D388, ASTM D2798, ISO 11760. Ниже в таблице 3.2 приведено подразделение по видам ископаемых углей согласно государственным стандартам [37, 38].

Таблица 3.2 – Виды ископаемых углей

Вид угля	R_0, %	Q^{af}, мДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf},%
Бурый	Менее 0,60	Менее 24	-
Каменный	От 0,40 до 2,59 включительно	24 и более	8 и более
Антрацит	2,2 и более	24 и более	Менее 8

В зависимости от происхождения угли всех видов подразделяются на классы, категории, типы, подтипы.

В свою очередь, угли бурые, каменные и антрациты в зависимости от генетических особенностей подразделяются на классы, категории, типы и подтипы.

Каменные угли разделены на 50 классов углей по среднему показателю отражательной способности витринита R_0 в масляной иммерсии в соответствии с таблицей 2.1. На основе микрокомпонента фюзена подразделяются на 8 (0-7) категории. С учетом различных свойств углей, они подразделяются на различные типы. Бурые угли на основе максимальной влагоемкости на беззольное состояние (W^{af}_{max}) разделены на 6 типов, каменные угли по выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние (V^{daf}_{st}) – на 21 тип. Существуют 4 подтипа для бурых углей, 23 подтипа для каменных углей, 6 подтипов для антрацитов. Бурые угли с учетом выхода смолы полукоксования на сухое беззольное состояние (T^{daf}_{sr}) делятся на 4 подтипа. Каменные угли по толщине пластического слоя «у» и индексу Рога – на 23 подтипа. Антрациты по анизотропии отражения A_R подразделены на 6 подтипов.

Технологические свойства и способности к обогащению учитываются при маркировке (группы и подгруппы). Общее количество 17 марок, из них 1 марка для бурых углей (Б), 15 марок для каменных углей. Марки каменных углей:

1) длиннопламенный – Д;
2) длиннопламенный газовый – ДГ;
3) газовый – Г;
4) газовый жирный отощенный – ГЖО;
5) газовый жирный – ГЖ;
6) жирный – Ж;

7) коксовый жирный – КЖ;
8) коксовый – К;
9) коксовый отощенный – КО;
10) коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный – КСН;
11) коксовый слабоспекающийся – КС;
12) отощенный спекающийся – ОС;
13) тощий спекающийся – ТС;
14) слабоспекающийся – СС;
15) тощий – Т.

Антрациты относятся к одной марке – А.

Группы бурых углей 1Б, 2Б, 3Б, каменные угли делятся на 21 группу, группы антрацитов 1А, 2А, 3А. Существует 4 подгруппы бурых углей, 34 подгруппы для каменных, 6 подгрупп для антрацитов [39, 40].

Определение степени метаморфизма с помощью петрографических составляющих макрокомпонент угля витрена микрофотометром Leitz 307-107.002 в «Отделе микроскопических исследований» (рисунок 3.3, Приложение В) согласно международным стандартам ГОСТ 25543-88, ГОСТ 12113-94, ASTM D388, ASTM D2798, ISO 11760.

Отражательная способность витринита Rmax=1,48, по стандарту соответствует каменному углю.

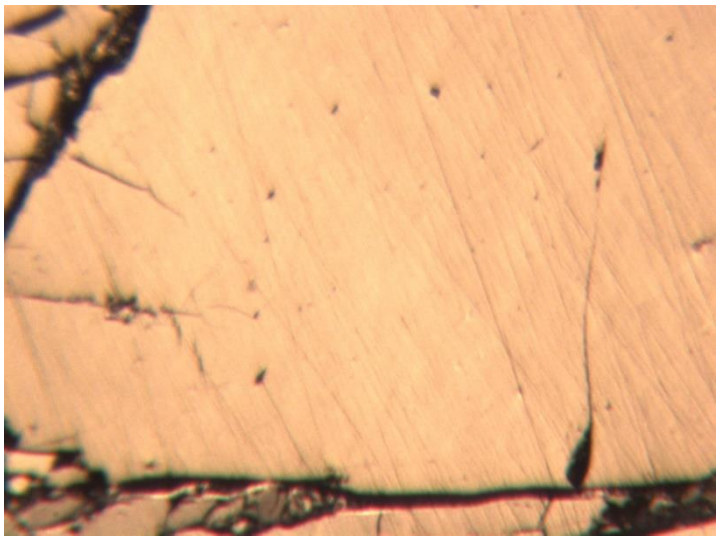


Рисунок 3.3 – Витринит под микрофотометром Leitz 307-107.002

3.5 Геофизические исследования скважин

Выполнены для литологического расчленения пород, картирования и выделения синонимики угольных пластов, определения неустойчивых зон, глубины залегания и мощности пород, чтобы использовать эти данные для создания геолого-геофизической модели. Из комплекса геофизических методов исследования скважин использованы диаграммы метода кажущегося

электрического сопротивления и диаметрометрия (кавернометрия). В целом были интерпретированы каротажные диаграммы 92 скважин (таблица 3.3):

Таблица 3.3 – Разведочные скважины, каротажные диаграммы которых использованы для оценки физико-механических свойств пород разреза

№ пп	Скважина	№ пп	Скважина	№ пп	Скважина	№ пп	Скважина	№ пп	Скважина
1	10001	21	10421	41	10484	61	12803	81	12953
2	10010	22	10424	42	10491	62	12804	82	12960
3	10019	23	10425	43	10498	63	12808	83	12964
4	10035	24	10427	44	12484	64	12814	84	12968
5	10038	25	10430	45	12714	65	12822	85	12989
6	10059	26	10439	46	12717	66	12828	86	13027
7	10329	27	10441	47	12718	67	12830	87	13034
8	10350	28	10442	48	12726	68	12842	88	13052
9	10352	29	10443	49	12736	69	12843	89	13063
10	10357	30	10446	50	12737	70	12846	90	13071
11	10358	31	10450	51	12751	71	12851	91	13152
12	10362	32	10451	52	12758	72	12855	92	13172
13	10365	33	10459	53	12767	73	12859		
14	10369	34	10459	54	12773	74	12865		
15	10373	35	10462	55	12786	75	12868		
16	10375	36	10463	56	12792	76	12871		
17	10379	37	10465	57	12794	77	12873		
18	10380	38	10466	58	12797	78	12874		
19	10385	39	10468	59	12798	79	12882		
20	10391	40	10479	60	12802	80	12891		

Из каротажных диаграмм сняты интервалы типичных пород, неустойчивые зоны по данным сопротивления КС и изменения диаметра ствола скважины в процессе бурения.

Физические основы геофизических методов исследований объясняется:

– Метод кажущегося электрического сопротивления (КС) представляет собой способ геологической документации разрезов скважин, основанный на изучении удельного электрического сопротивления пород, пересеченных скважинами. Этот весьма эффективный метод получил широкое распространение. Удельное электрическое сопротивление горных пород изменяется в очень широких пределах, что позволяет использовать этот параметр для расчленения разрезов скважин, выделения продуктивных пластов и их изучения. Для измерения удельного электрического сопротивления обычно используется трехэлектродная измерительная установка, опускаемая в скважину на кабеле. Три электрода зонда – N, M и A – присоединены к концам изолированных жил кабеля. Четвертый электрод B устанавливают на поверхности вблизи устья скважины. Через токовые или питающие электроды A

и В (заземления) вводится в породы электрический ток I. Между измерительными или приемными электродами М и N регистрируется разность потенциалов ΔU. Так как электроды М и N обычно расположены вблизи электрода А и на большом расстоянии от электрода, то разность потенциалов ΔU между в основном обусловлена полем электрода А и влиянием электрода В можно пренебречь.

При исследовании скважин методом кажущегося электрического сопротивления (КС) используется различие в удельных электрических сопротивлениях горных пород. Удельное сопротивление пород изменяется от долей до миллионов омметров.

Область применения метода: расчленение разрезов скважин по данным удельного и кажущегося электрического сопротивлений пород, выделение реперов для корреляции разрезов, изучение литологии, выделение полезных ископаемых в разрезах скважин, определение физико-механических свойств пород.

При исследовании скважин по методу электрических сопротивлений определяется кажущееся сопротивление, которое в общем случае отличается от истинного удельного сопротивления пласта и зависит от его мощности, диаметра скважины, типа и размера зонда, сопротивления бурового раствора и зоны проникновения раствора в пласт. Зона проникновения бурового раствора в угольные пласты и в большинство вмещающих их пород, практически отсутствуют, в связи с чем кривые зондирования в основном интерпретируются по двуслойным палеткам БЭЗ.

Боковое электрическое градиент-зондирование применяется для исследования угольных пластов, в том числе тонких пластов, мощность которых меньше размера зонда. Это обусловило применение в практике градиент-зондирование по сравнению с потенциал-зондированием [46-47].

Каротажные станции АЭКС-900 и АЭКС-1500 с комплексом методов: кажущихся электрических сопротивлений (КС) со стандартным градиент-зондом А1,2МО,1N и малым градиент-зондом А0,3М0,03N и кавернометрии (ДС) использованы для проведения исследовании.

Сравнения стандартного градиент-зонда А1,2М0,1N и малого градиент-зонда А0,3М0,03N показали, что для определения электрического кажущегося сопротивления наиболее соответствуют результаты истинного сопртивления стандартного градиент-зонда. Малый зонд имеет не большую глубину и малую тесноту связи.

– Кавернометрия. Обычно действительный диаметр скважины d_c отличается от номинального диаметра $d_н$, которым скважина бурилась. При бурении скважин проходятся породы различного литологического состава, обладающие разной механической крепостью. В рыхлых сыпучих и набухающих породах стенки скважины разрушаются и образуются глубокие каверны. Изменение диаметра скважины оказывает (в разной степени) влияние на диаграммы всех геофизических методов. Поэтому для интерпретации геофизических материалов необходимо знать величину действительного диаметра скважины. Эти данные

нужны также для обработки материалов бокового электрического зондирования. Кроме того, изменение диаметра скважины при бурении происходит неодинаково в различных породах, что позволяет непосредственно использовать эти измерения для изучения разрезов скважин. Сведения о диаметре скважины, необходимы также для решения технических задач при цементаже и испытании скважины.

Горные породы по характеру изменения в них диаметра скважины могут быть разделены на три типа. К первому типу относятся породы, в которых диаметр скважины не отличается от номинального. Это плотные песчаники, конгломераты, известняки, доломиты, конкреции и магматические породы. Ко второму типу принадлежат породы, при бурении которых в скважинах образуются каверны – глины, аргиллиты, уголь, рыхлые песчаники, известняки, доломиты, каменная соль и др. Третий тип – породы, бурении которых на стенках скважины образуются сальники, приводящие к сужению диаметра скважины. К таким породам относятся проницаемые песчаники, известняки и доломиты, а также некоторые глины и угли при наличии вязких буровых растворов.

Измерения фактического диаметра скважины выполняют специальными приборами - каверномерами, которые обеспечивают непрерывную запись усредненного диаметра по глубине, называемую кавернограммой.

Кавернометрия входит в стандартный комплекс геофизических исследований, и регистрация диаметра скважины является обязательной во всех скважинах. Данные кавернометрии используют при литологическом расчленении разреза и при интерпретации методов ГИС, а также для определения суммирующего эффекта всех механических свойств пород.

Кроме того, данные кавернометрии широко используют для решения технических задач. Необходимое количество цементного раствора при цементировании обсадных колонн определяют с учетом средневзвешенного значения диаметра скважины, определяемого по кавернограмме.

Кроме перечисленных обязательных стандартных методов каротажа используются так же инклинометрия, гамма-каротаж, гамма-гамма-каротаж, ВП и другие, которые проводятся не во всех скважинах, за исключением инклинометрии [46, с. 329].

Выводы по главе 3

1 В межкафедральной лаборатории «Инновационная геолого-минералогическая лаборатория» (КазНИТУ, г. Алматы) были изготовлены шлифы, описаны состав и строение вмещающих угли пород.

Типичные породы седиментационного бассейна аргиллиты, алевролиты и песчаники имеют от светло-серого до темно-серого цвет. В составе присутствуют кластический материал эффузивных, осадочных, реже метаморфических горных пород; минеральный состав характеризуется наличием плагиоклазов и кварца. По структуре пелитовая, алевритовая и псаммитовая (в основном мелкозернистые песчаники), по текстуре слоистые (от горизонтальной до косоволнистой).

Цемент осадочных пород кремнистый, глинистый, хлоритовый, карбонатный. Для угленосных отложений аккудукской, ащылыайрыкской и карагандинской свит характерен глинистый и кремнисто-глинистый цемент, по структуре поровый. Также встречаются аутигенные минералы группы анатаз-брукита и барит; терригенные минералы встречаются в виде апатита, циркона.

Кроме типичных пород в угольном бассейне присутствуют гравелиты, конгломераты, вулканические туфы, карбонатные породы.

Микроскопические исследования углевмещающих пород используются для определения литолого-фациального типа пород, который влияет на формирование физико-механических свойств пород кровли угольных пластов.

2 В лабораториях «State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing)» (КНР, г. Пекин) на системе тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000), системой прямого сдвига Digital Rock (RDS-100) и на приборе для определения пористости, построенной SKL в «Отделе физико-механических испытаний горных пород» и «Центргеоланалит» (г. Караганды) были получены результаты определения следующих показателей: плотность, г/см^3 (аргиллиты 2,2-2,55, алевролиты 2,25-2,58, песчаники 2,1-2,60), пористость, % (аргиллиты 9-19, алевролиты 9-20, песчаники 6-17), пределы прочности на сжатие, МПа (аргиллиты 11-40, алевролиты 15-52, песчаники 21-85) и растяжение, МПа (аргиллиты 0,7-3,0, алевролиты 0,9-4,0, песчаники 1,9-6,3). Влажность пород по интервалам варьирует в пределах 2,3-8,6 %. Эти результаты были использованы при сопоставлении результатов полученных с помощью геолого-геофизической модели.

3 В лаборатории «State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing)» (КНР, г. Пекин) изучена отражательная способность R_0 витринита угля в иммерсионной среде в «Отделе микроскопических исследований» с помощью микрофотометра Leitz 307-107.002, которая является качественным показателем степени метаморфизма.

Угли и вмещающие их породы в геологическом разрезе любого участка претерпевают этапы литогенеза одновременно и образуют всегда единый комплекс осадочных образований. Поэтому связь метаморфизма углей с постдиагенетическими изменениями вмещающих пород закономерна, которые формируют физико-механические свойства углей. Количественный показатель степени метаморфизма – это значение отражательной способности витринита, который позволяет определять глубину погружения горных пород, температуру на глубине и длительность их пребывания на максимальной глубине. Результаты петрографического исследования органической составляющей – витринита 1,48, что соответствует каменному углю.

4 Для создания геолого-геофизической модели были обработаны диаграммы гамма-каротажа, гамма-гамма-каротажа, электрического кажущегося сопротивления и кавернометрии. В результате после тщательной обработки данных были выбраны методы кажущегося сопротивления и кавернометрии.

Такая методика позволяет проводить литологическое расчленение разреза при бескерновом бурении разведочных скважин, определение и синонимику угольных пластов в различных угольных свитах бассейна и повышает точность документации разреза буровых скважин при разведке особенно нижних горизонтов (на глубинах 900-1200 м) участков Карагандинского бассейна. На каждом разведочном участке выполнен боковой токовый каротаж (БКЗ) с набором зондов длиной от 0,3 до 4,0 м. По материалам БКЗ определен истинное электрическое сопротивление пород разреза скважин и это значение было сопоставлено с диаграммой каждого зонда. Сравнения показали, что значения диаграмм градиент-зонда и потенциал-зонда длиной 1,20 м почти полностью совпадает с истинным электрическим сопротивлением пород, полученным по результатам БЗК. По результатам этих опытно-методических работ выбран рациональный стандартный комплекс геофизических методов исследования (каротаж), который является обязательным для всех разведочных буровых скважин бассейна.

Действительный диаметр скважины необходимо для обработки материалов бокового электрического зондирования. Кроме того, изменение диаметра скважины при бурении происходит неодинаково в различных породах, что позволяет непосредственно использовать эти измерения для изучения прочностных свойств углевмещающих пород.

4 ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД КАРАГАНДИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Первое защищаемое положение. Геологические условия формирования состава, свойств и состояния углевмещающих пород связаны с петрофондом питающих провинций, фациальными особенностями седиментационного бассейна и степенью постдиагенетических преобразований осадков. Степень постдиагенетических изменений горных пород можно оценить количественно по отражательной способности витринита и метаморфизму углей. Установлена зависимость между метаморфизмом углей, петрографическими особенностями, физико-механическими свойствами и устойчивостью углевмещающих пород в кровле лав.

4.1 Питающие провинции (петрофонд) седиментационного бассейна

Современные глубокие шахты в Карагандинском угольном бассейне могут быть рационально проектированы только при наличии исходных данных о прогнозных величинах физического состояния угленосной толщи, а именно при наличии достоверных данных о физико-механических свойствах углевмещающих пород. Геологической средой производства горных работ являются углевмещающие породы и слагаемые ими массивы, которые служат конструктивными элементами подземных горных выработок. Конструкции горных выработок, их устойчивость при проходке и эксплуатации, развитие различных горно-геологических явлений в выработанном пространстве связаны с физическими свойствами и состоянием горных пород.

Традиционная модель осадконакопления, используемая многими учеными, основывалась на «осадочном цикле» серии литотипов в повторяющихся «циклах». Эта концепция была изменена до модели, связанной с латеральными и вертикальными последовательными изменениями параметров осаждения, которые были признаны в современных речных, дельтовых и прибрежных барьерных системах. Традиционная модель основана на работах, выполненных в США Хорн (1979), Ферм (1979) и Стауб (1984), Стауб и Коэн (1979) в сериях исследований.

Традиционная модель по-прежнему является основой для современных угольных месторождений и связана с более глубоким пониманием развития и сохранения торфа [48].

Изучение бассейна осадконакопления заключается в понимании характера и распределения осадков в процессе седиментации. При этом можно рассматривать три основные аспекты седиментологического анализа бассейнов: изучение питающих провинций, распределение фаций и палеообстановки, а также изменения в пластах во времени в течение эволюции бассейна. Исследование питающих провинций является ключевым элементом при анализе бассейна. Изменения состава обломков во времени могут быть использованы в качестве индикатора глубины эрозии в районе источника внутренних районов и,

следовательно, обеспечивают понимание истории поднятия и раскрытия/размыва пород орогенного пояса [49].

В отличие от других минеральных ресурсов, угленосные отложения в основном образовались в различных средах накопления древних углей (Peng 1991). Свойства углей характеризуются древней геологической средой и переходом от торфа к формированию углей. Из-за различной геологической среды и особенностей осадконакопления, мощности кровли и подошвы угольных пластов меняются как в вертикальном и, так и латеральном направлениях (Peng, 1993). Это приводит к гетерогенности и разрыву углевмещающих пород. Вследствие этого в процессе добычи угольных пластов устойчивость кровли ухудшается. Обычно аварии, связанные с обрушением кровли, вспучиванием подошвы и внезапным сдвижением пород происходят в переходной зоне от песчаников к аргиллитам. Как показывают исследования, непродуктивное время в горнодобывающей отрасли примерно от 40 до 60% от общего непроизводительного времени связано с обрушением кровли. Статистические данные из основных стран-производителей угля в мире показывают, что около трети подземных несчастных случаев вызваны неправильным контролем за устойчивостью кровли или грунтоперегрузом [50].

Изучение физико-механических свойств горных пород показало, что существует определенная закономерная связь между ними и их составом, что имеет геологическую природу. Продукты различного вида выветривания материнских пород окружающих участков суши, т.е. питающих провинций являются первичными факторами, определяющими состав и физико-механические свойства горных пород терригенной формации. При этом продукты разрушения, которые являются исходным материалом терригенных пород, достигают областей седиментации в двух состояниях: в дисперсной фазе в виде растворов и в твердой фазе в виде обломков различной формы и размеров. Таким образом, изучение областей питающих провинций бассейна является важной составной частью при анализе формирования угленосной толщи.

Компоненты, слагающие осадочные породы, формируются главным образом при разрушении вещества земной коры экзогенными агентами. При этом продукты разрушения, которые являются исходным материалом терригенных пород, достигают областей седиментации в двух состояниях: в дисперсной фазе в виде растворов и в твердой фазе в виде обломков различной формы и размеров. Основным фактором, определяющим петрографический состав терригенных пород является генетический тип исходных (материнских) пород. Процессы выветривания обычно в той или иной степени изменяют валовый минеральный состав материнских пород за счет селективного разрушения слагающих их минералов. Следовательно, в осадках могут образовываться несколько иные ассоциации слагающих их минералов, так как одни минералы концентрируются, а другие – рассеиваются до полного исчезновения. Тем не менее, в облике всей ассоциации терригенных минералов остаются какие-то характерные черты, позволяющие восстановить облик денудационного участка земной коры. В качестве терригенных минералов

обычно рассматриваются присутствующие в отложениях неглинистые обломки минералов, источниками образования которых были продукты выветривания других горных пород. Эти минералы являются предметом изучения терригенной минералогии.

Основным показателем, определяющим состав терригенных пород, является тип исходных пород, минеральный состав источников сноса, т.е. петрофонд. Петрофондом именуется исходный (первичный) состав материнских пород источников сноса до изменения вторичными, в частности гипергенными, процессами осадочного цикла. Области распространения пород источников сноса в соответствии с общепринятой терминологией именуются питающими провинциями [51].

При формировании кластических осадочных пород особое значение имеет изучение типа и характера материнских пород, из которых образовались осадки. Фрагменты характерных пород или присутствие в песках необычных минералов подкрепляют идентификацию области сноса, и таким образом, ведут к пониманию палеогеографии области сноса осадочного бассейна. Дополнительное влияние на характер осадков, отлагающихся в бассейне, оказывают геологические события, происходящие вне бассейна осадконакопления. Резкий подъем и эрозия области сноса вызывают поступление новых минералов, ранее отсутствовавших в этом бассейне; вулканизм за пределами бассейна регистрируется также по притоку новых характерных минеральных ассоциаций. Поэтому необходимо знать и уметь распознавать наборы минералов, присущие существенно отличающихся друг от друга источникам и характерные для них компонентов [52].

Действительность и объем любого исследования формирования бассейна определяются рядом признаков целевого осадка/осадочной породы (например, размер зерна, степень выветривания, наличие данных рассеивания, степень диагенетического наложения и т.д.). Для большинства исследований местоположение источника имеет решающее значение, и для этого необходимы дополнительные данные. Эти данные должны быть связаны как с направлением, в котором источник расположен относительно бассейна осаждения, так и некоторую оценку расстояния транспортировки. Кроме того, важно иметь некоторое ограничение на степень, в которой состав осадка изменен от исходного материала (материалов) за счет выветривания/эрозии, абразии, гидравлической сегрегации, диагенез и/или переработка осадка [53].

Процессы выветривания обычно в той или иной степени изменяют валовый минеральный состав материнских пород за счет селективного разрушения слагающих их минералов. Следовательно, в осадках могут образовываться несколько иные ассоциации слагающих их минералов, так как одни минералы концентрируются, а другие – рассеиваются до полного исчезновения. Тем не менее, в облике всей ассоциации терригенных минералов остаются какие-то характерные черты, позволяющие восстановить облик денудационного участка земной коры. В качестве терригенных минералов обычно рассматриваются присутствующие в отложениях неглинистые обломки минералов, источниками

образования которых были продукты выветривания других горных пород [51, с. 68].

Стадии образования терригенных реликтовых минералов в угленосной толще Карагандинского бассейна связано с разрушением материнских магматических, метаморфических и более древних осадочных пород участков суши, окружающих седиментационный бассейн:

1) при разрушении материнских пород, их переносе и отложении продуктов выветривания;

2) развитие по этим породам кор химического выветривания при переотложении;

3) повторные процессы перемыва и переотложения.

Интерпретация питающих провинций кластических компонентов пород основаны на: 1) минералогии и химического состава обломочного материала, из которых определяется литология материнских пород и тектоническая обстановка; 2) прямые палеогеографические признаки в породах, такие как структура, текстура и форма, размеры зерен. При анализе питающих провинций изучение палеомагнетизма так же дает возможность определять области источников сноса, фации стратиграфических подразделений, характеризует направление поступления и особенности транспортировки осадков, мощность и объем обломочных пород – площади источников сноса (рисунок 4.1) [54].

В составе осадочных пород бассейна преобладают кварц, полевые шпаты. Из полевых шпатов микроклин, ортоклаз, кислые и средние плагиоклазы. Также встречаются мусковит, биотит, амфиболы, пироксены, эпидот, гранаты. Большинство из этих минералов встречаются в качестве аутигенных. Можно также наблюдать в составе пород глинистые, карбонатные, хемо- и биохемогенные минералы.

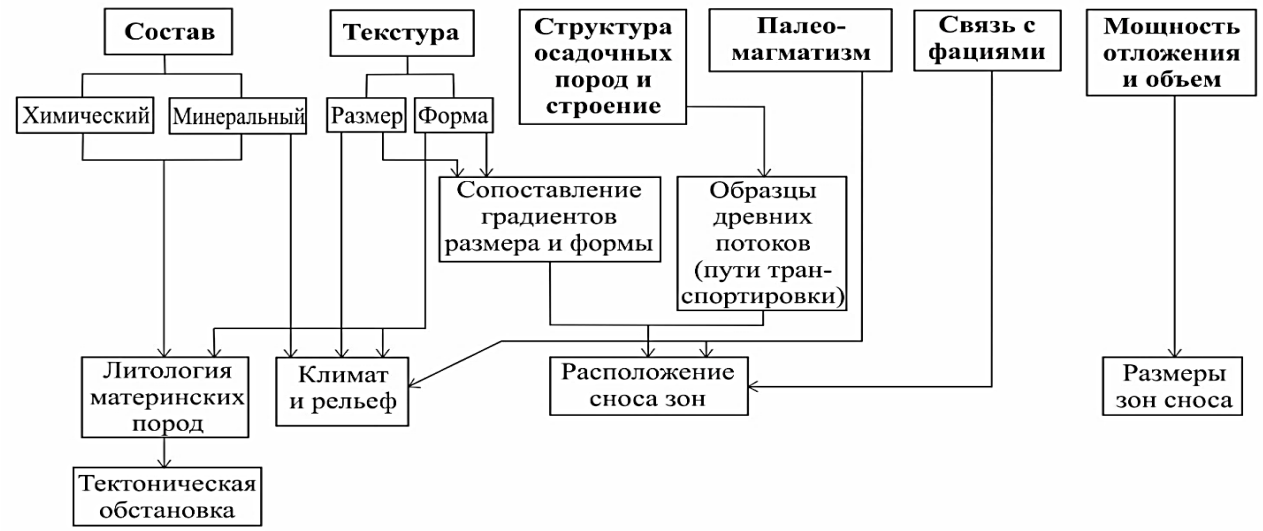


Рисунок 4.1 – Характеристика осадочных пород и их связь с питающими провинциями (по Sam Boggs, 2009)

Особенности распределения терригенных минералов в осадочных толщах и стратисфере в целом определяются следующими факторами:

1) составом и пространственным распределением (в том числе суммарной площадью выходов) различных коренных пород источников сноса, составом продуктов и интенсивностью (объемом продуктов) председиментационного и синседиментационного (конседиментационного) вулканизма;

2) тектоно-геоморфологическими, климатическими, фациально-динамическими и другими условиями протекания осадочного процесса, определяющими особенности выведения на поверхность, высвобождения, переноса, осаждения, захоронения и последующего изменения, и разрушения минералов;

3) свойствами терригенных минералов, определяющими особенности поведения и сохранность их в ходе седиментогенезе. По отношению к терригенным минералам факторы первой группы могут быть названы исходными, второй – внешними, третьей – внутренними [51, с. 70].

По ассоциации минералов тяжелой и легкой фракции и типам материнских пород, за счет разрушения которых формируются эти ассоциации терригенных минералов, В.П. Батурин (1947) выделил пять типов питающих провинций [55], а в свете новых данных по преобладающему составу пород М.Г. Бергер (1986) выделил четыре петрографические типы питающих провинций [56] (таблица 4.1).

Для определения источников питающих провинций изучены породы в радиусе порядка 100 км от контура бассейна: Спасский антиклинорий составляют вулканогенно-осадочные породы нижнего и среднего девона мощностью 4-6 км; горы Байдаулет – это андезито-базальтовые порфириты ордовика, прорванные диабазовыми порфиритами и кварцевыми диоритами; Тектурмасский антиклинорий – вулканогенно-осадочные породы ордовика и кварциты неопротерозоя; горы Сункар – кварциты неопротерозоя; северо-западная и западная части частях бассейна – вулканогенно-осадочные породы, прорванные среднедевонскими гранодиоритами, лейкократовыми гранитами и жильными гранит-порфирами, сиенит-порфирами. Состав пород питающих провинций характеризуется магматическими, вулканогенно-осадочными и метаморфическими горными породами.

Аутигенные минералы группы анатаз-брукита преобладают в прибрежно-морских отложениях ащылыайрыкской и карагандинской свит, которые формировались при разрушении и переносе продуктов выветривания вулканогенно-осадочного комплекса пород Спасского антиклинория. Северная часть каледонской консолидации привела к временным водотокам. В благоприятных условиях в угленосную толщу при перемыве поступают диабазовые порфириты гор Байдаулет. Поэтому в составе песчаников встречаются гальки в кровле пласта $к_{12}$, которые являются продуктами размыва.

Таблица 4.1 – Основные петрографические типы питающих провинций и их минералы-индикаторы

Петрографический тип и его обозначение	Преобладающий класс и тип пород	Типоморфные минералы – индикаторы
Гранитоидный (салический) a	Кислые, средние и щелочные магматические и подобные им по составу породы и связанные с ними пегматиты, пневматолито-гидротермальные и контактово- метасоматические образования	Кварц, калишпаты, кислые плагиоклазы, мусковит, биотит, роговая обманка, щелочные амфиболы и пироксены, циркон, турмалин, апатит, монацит, ксенотим, касситерит, топаз, титанит и др.
Базитовый (мафический) b	Основные и ультраосновные магматические и подобные им по составу породы и связанные с ними поздне- и постмагматические и контактово-метасоматические образования	Основные плагиоклазы, пироксены, оливин, хромит, шпинель, магнетит, титано-магнетит, ильменит, пироп
Метаморфический m	Разнообразные по составу кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, кварциты и другие породы различных зон и типов регионального и локального метаморфизма	Кварц, кианит, ставролит, силлиманит, андалузит, тремолит, актинолит, глаукофан, минералы группы эпидота, альмандин, хлоритоид, корунд
Осадочный s	Более древние осадочные породы различного состава	Переотложенный кварц, глауконит, кальцит, доломит, циркон, рутил, турмалин, барит, анатаз и др.

Вверх по разрезу Карагандинского бассейна в составе пород долинской и тентекской свит преобладают тяжелые минералы терригенных пород, которые поступали за счет сноса продуктов выветривания северо-западного и западного участков суши. Для сопоставления проводилось корреляция состава гранодиоритов и лейкократовых гранитов с породами свиты.

Шаханская и тентекская свиты характеризуются грубообломочными породами, в составе которых наблюдаются гальки порфиритов, кварцевых порфиритов, альбитофиров, гранитов, гранодиоритов, кристаллических сланцев и кварцитов. Конгломераты свидетельствуют о поступлении материала из северного и северо-западного участков питающих провинций и из района гор Сункар, возможно и далее. Об этом свидетельствуют хорошая окатанность галек и состав конгломератов.

Основным источником информации при корреляции являлись песчаники. Чем ближе к источнику питающих провинций наблюдалось слабая окатанность, увеличение размеров обломков песчаников.

Большинство исследований о происхождении кластическеского материла осадочных пород сосредоточено на песчаниках. Большая часть этих исследований связаны с попытками интерпретировать литологию пород из детритовых минеральных комплексов. Петрографический анализ (рисунок 4.2) кварца, полевых шпатов, слюд, тяжелых минералы и фрагменты породы являются основой для большинства таких исследований. Поскольку кварц является наиболее распространенным компонентом в большинстве песчаников и, по существу, единственным составляющим.

Кварц может встречаться в виде единичных (монокристаллических) зерен или как составные (поликристаллические) зерна. При исследовании под скрещенными призмами с помощью поляризационного микроскопа многие кварцевые зерна демонстрируют широкие формы погасания при вращении столика. Это свойство называется «волнистое погасание». Некоторые авторы (Folk, 1974; Basu *et al*., 1975) предполагают, что свойства поликристалличности и волнистого погасания могут быть использованы для различия кварца из разных источников. Кварц происходит от интрузивной породы, в частности, таких как граниты, метаморфических пород и более древних песчаников.

Полевые шпаты, как правило, являются составными частями большинства песчаников. Некоторые свойства полевых шпатов делают их полезными индикаторами для определения происхождения. Во-первых, поскольку полевые шпаты химически и механически менее устойчивы, чем кварц, они менее подвержены рециркуляции. Некоторые полевые шпаты действительно могут быть переработаны в зависимости от условий; однако наличие умеренно обильных полевых шпатов в песчанике предполагает вывод из кристаллических исходных пород. Таким образом, полевые шпаты более вероятны, чем кварц, для предоставления информации об исходных породах. Они могут быть получены из фельзитовых магматических или метаморфических пород и кальциевого плагиоклаза из основных изверженных или метаморфических пород. Наличие зонирования и двойникования в плагиоклазовых полевых шпатах также связано с типом источника породы [57, 58].

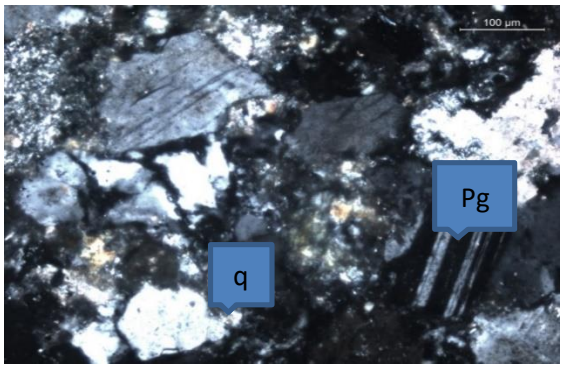


Рисунок 4.2 – Песчаники (фото сделано в лаборатории State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing) в г. Пекин (КНР))

На основе выполненных петрографических исследований построена диаграмма формирования состава терригенных пород угленосной толщи Карагандинского бассейна из источников питающих провинций, представляющих собой сложные терригенно-минеральные комплексы (рисунок 4.3).

Рисунок 4.3 - Диаграмма формирования терригенных пород угленосной толщи Карагандинского бассейна из источников питающих провинций (Байбатша А., Сатибекова С., 2018)

Поступление терригенного материала из близлежащих районов во время тектонических движений и сноса терригенных материалов обосновано грауваковым и кварц-полевошпатовым составом углевмещающих пород бассейна.

В целом определение источников питающих провинций основаны на формировании терригенных пород. Множество геологических процессов, к которым относится тектонический режим, климат, динамика среды транспортировки, условия накопления обломочного материала и постседиментационные преобразования осадков являются первичными геологическими факторами формирования геологических основ для изучения физико-механических свойств пород. При восстановлении формировании любого геологического процесса нужно стремиться к максимальной точности и обоснованности результатов. Так как такой результат имеет не только научное,

но и практическое значение при решении задач, связанных с оценкой физико-механических свойств пород и поведения в горных выработках.

4.2 Фациальные типы и литогенетический состав угольных свит

Обоснованное прогнозирование поведения кровли угольных пластов и устойчивости очистных выработок базируется на детальном изучении литолого-фациального состава бассейна. Так как такие неблагоприятные явления как обрушение кровли могут происходить и изменяться состояние угольного массива в пределах даже одного участка, это объясняется множеством геологических факторов. Поэтому угленосные отложения следует связывать с фациями, то есть закономерное осадконакопление происходило под воздействием определенных палеогеографических, палеоклиматических условиях.

Литолого-фациальный анализ петрографическим методом типичных отложений Карагандинского бассейна установила закономерную связь между физико-механическими свойствами пород и составом углевмещающих пород.

Карагандинский угольный бассейн формировался в два этапа в период карбона и юры. Продуктивные свиты: в ащылыайрыкской и карагандинской свитах залегают автохтонные угли паралического типа; в долинской и тентекской свитах – лимнического типа. Остальные свиты: аккудыкская, алабасская, надкарагандинская и шаханская свиты не содержат рабочих угольных пластов. Свиты юрского возраста дубовская и михайловская имеют рабочие угольные пласты бурого угля.

В тектоническом отношении Карагандинский бассейн приурочен к области активизированной зоны. Палеозойские бассейны характеризуются большой мощностью угленосных отложений, их дислоцированностью, метаморфизованностью, ритмичность в осадконакоплении и выдержанность мощностей угольных пластов.

Фации – это гетерогенное геологическое тело с зональным строением. При литолого-фациальном анализе восстанавливается история и процесс образования пород, постдиагенетические изменения. Знание о питающих провинциях находит свое применение для определения литологических типов и фации пород. Знание об источниках питающих провинций охватывает исходный вещественный состав материнских пород; виды выветривания их; условия их переноса и аккумуляции; степени постдиагенетических изменений угленосных отложений. Петрографические исследования нацелены для выяснения генезиса отложений. Для этого исследуются неглинистые минералы для восстановления облика денудационного участка земной коры. В процессе выветривания происходит видоизменение минералов или даже исчезновение минерала [59-60].

Из предыдущей главы известно питающие провинции Карагандинского угольного бассейна. Терригенные породы угленосной формации образовались за счет переноса и диагенеза вулканогенно-осадочной толщи нижнего и среднего девона Спасского антиклинория, андезито-базальтовых порфиритов ордовика, прорванные диабазовыми порфиритами и кварцевыми диоритами в районе гор

Байдаулет, кварцитов верхнего протерозоя и вулканогенно-осадочных тощ ордовика Тектурмасского антиклинория, кварцитов верхнего протерозоя в районе гор Сункар и на примыкающих к бассейну северо-западных и западных районах вулканогенно-осадочных пород, прорванных среднедевонскими малыми интрузиями [61].

Литолого-фациальный состав Карагандинского каменноугольного бассейна составляет, типичные породы как песчаники (36%), алевролиты (30%) и аргиллиты (27%). Остальные породы (угли, конгломераты, карбонатные породы, туфы) составляют не более 7-10 %.

Согласно общепринятому принципу исследований осадочных формаций нами охарактеризованы породы кровли по литолого-фациальному составу (таблица 4.2) [62].

В результате литолого-фациального анализа установлено, что основным критерием является изменение мощности угленосных отложений в пространстве относительно источников сноса. Мощности всех свит увеличиваются в южном направлении, то есть по приближению к источнику сноса. В этом направлении увеличиваются мощности песчаных пород, уменьшаются мощности пелитовых пород. Последовательность типичных пород в бассейне сохраняется для всех свит. Продуктивные (ащылыайрыкская, карагандинская, долинская и тентекская) свиты характеризуются верхними и нижними подсвитами, сложенными аргиллитами и алевролитами, средняя основная подсвита – песчаниками. Безугольная аккудыкская свита характеризуется нормальным строением для бассейна, в шаханской свите песчаники сменяются более тонкими породами.

Угленосные толщи седиментационного бассейна сложены песчаными породами, которые по своему составу принадлежат к группе полимиктовых. Мощные их толщи формировались в геосинклиналях и передовых прогибах. Изучение полимиктовых песчаных пород представляет большой интерес так как состав компонентов их непосредственно дает представление об источниках сноса.

Под термином «граувакки» различными исследователями понимаются породы разного состава. Американские авторы грауваккам называют песчаные породы, содержащие, помимо кварца и полевых шпатов, значительный процент обломков пород, вне зависимости от их состава (Ф. Петтиджон, 1949; У.К. Крумбейн и Л.Л. Слосс, 1951).

Некоторые исследователи под грауваккам понимают продукты разрушения основных изверженных пород (Л.В. Пустовалов, 1940), другие – пески и песчаники обогащенными любыми обломками пород (осадочных, метаморфических, иногда с примесью туфогенного материала), основных излившихся пород (М.С. Швецов, 1948; Л.Б. Рухин, 1953) [63-64].

Таблица 4.2 – Фациальные типы и литогенетический состав углевмещающих пород Карагандинского бассейна (Байбатша А., Сатибекова С., 2018)

Тип фации	Угленосная свита	Литогенетический состав пород
Прибрежно-морские образования		
Фации лагун	Аккудуыкская, ащылыайрыксакая	Серые, темно-серые аргиллиты и алевролиты со слабой горизонтальной или линзовидной слоистостью. Наблюдаются только фауны
Фация прибрежного мелководья	Верхняя часть аккудыкской свиты, ащылыайрыкская свита, нижняя часть карагандинской свиты	Переслаивание тонких прослоев песчаных и глинистых пород с мелкой разнообразной слоистостью, со следами взмучиваний и размывов
Фация пляжей и отмелей	Незначительное развитие в ащылыайрыкской свите и нижней части карагандинской свиты	Мелкозернистые песчаники и алевролиты с четкой и разнообразной слоистостью, лишенные фаунистических остатков, характерна плохая сортировка материала и большое количество растительного детрита
Фация баров или пересыпей	средняя часть ащылыайрыкской свиты	Мелкозернистые известковистые песчаниками с неравномерной горизонтальной слоистостью и хорошей сортировкой материала. Наблюдается брахиоподовая фауна в виде обломков
Континентальные образования		
Озерные фации	долинская, тентекская свиты	Серые и темно-серые мелкозернистые хорошо отсортированные аргиллиты и алевролиты с горизонтальной, реже косой слоистостью и обилием растительного материала
Болотные фации	ащылыайрыкская, карагандинская, долинская, тентекская свиты	Угли и углистые породы. Темно-серые аргиллиты с отсутствием слоистости и обилием растительного материала
Речные фации	Средняя часть карагандинской свиты	Слабо отсортированные и окатанные разнозернистые песчаники с косой слоистостью и большим количеством растительных остатков
Русловые фации		
Пойменные фации		Переслаивание песчаных и глинистых пород с горизонтальной слоистостью и обилием растительных остатков
Дельтовые фации	Верхние угленосные свиты	Аналогичны речным фациям
Фации сухих равнин	Надкарагандинская, шаханская свиты; верхняя часть карагандинской, тентекской свит; долинская свита	Плохо отсортированные с конкрециями кальцитового состава зеленовато-серые, реже красно-бурые аргиллиты, алевролиты и тонкие песчаники, лишенные органических остатков

Представляется целесообразным под термином «граувакки» понимать песчаные породы, содержащие продукты разрушения глубинных основных пород, как в виде обломков пород, так и в виде отдельных минеральных компонентов, характерных для данной группы образований (средние и основные плагиоклазы, пироксены, амфиболы и др.).

Таким образом, грауваккамы мы называем породы, содержание кварца менее 60% (иногда почти до нуля), в песчаниках Карагандинского угольного бассейна содержание кварца менее 10%, значительное количество полевых шпатов (среди них средние и даже основные плагиоклазы) и обломки основных глубинных пород или цветных минералов, характерных для них, в количестве более 20%.

Значительный процент в грауваккаx составляет хлорит и слюдистые и глинистые минералы, развивающиеся по полевым штатам и меланократовым компонентам основных пород. Вследствие этого грауваккoвые песчаники характеризуются довольно низким содержанием кремнезема и значительным количеством полуторных окислов.

Окраска грауваккoвых песчаных пород большей частью серая (откуда они и получили свое название), нередко с зеленым оттенком.

Граувакки часто чередуются с алевритовыми и пелитовыми породами, причем это чередование имеет ритмичный характер. Цемент грауваккoвых песчаных пород глинистый, глинисто-хлоритовый, а иногда цеолитовый [63, с. 123].

Песчаники (рисунок 4.4) серого, светло-серого цвета, по составу полимиктовые, присутствуют в составе кластический материал эффузивных, осадочных, реже метаморфических горных пород. Минеральный состав песчаников составляет полевые шпаты (плагиоклазы), кварц.

Полевые шпаты (фельдшпаты или плагиоклазы) составляют основную часть магматических горных пород. Они слагают почти 60% магматитов. Плагиоклазы в шлифах бесцветный, цвет интерференции низкий, наблюдаются двойники, рельеф и шагреневая поверхность слабая, полоска Бекке движется на минерал. Цвета интерференции выше белого не встречаются. При скрещенных николях наблюдаются полисинтетические двойники как параллельные между собой индивиды. Параллельные индивиды имеют различные углы погасания.

Кварц, SiO_2, широко распространенный минерал кислых магматических пород. Под микроскопом в шлифе он бесцветный, неправильной формы, рельеф и шагреневая поверхность слабая, полоска Бекке движется на минерал. Цвет интерференции белый, двупреломление низкое, спайность отсутствует. Он легко распознается по облачному погасанию [65].

Структура песчаников мелкозернистая, иногда крупно- и среднезернистая. Текстура песчаников слоистая – от горизонтальной до косоволнистой. Слоистость песчаников обусловлена фациальными условиями. Слоистость песчаников ащылыайрыкской свиты горизонтальная или косоволнистая, характерная для фации барров, пляжей и отмелей; карагандинской и надкарагандинской свит – косая прерывистая, характерная для речной и озерной

фаций; дельтовые отложения долинской свиты и фации конусов выноса тентекской и шаханской свит характеризуются горизонтальной, косой и косоволнистой слоистостью.

По составу цемента песчаники Карагандинского бассейна имеют кремнистый, глинистый, хлоритовый, карбонатный. Цемент в угленосных отложениях аккудукской, ащылыайрыкской и карагандинской свитах глинистый и кремнисто-глинистый, по структуре поровый. В цементе континентальных песчаников встречаются значительное количество хлорита, по структуре цемент обрастания.

В состав тяжелой фракции входят аутигенные (минералы группы анатаз-брукита и барит) и терригенные (апатит, циркон) минералы. По сравнению с континентальными отложениями прибрежно-морские отложения характеризуются преобладанием в составе циркона и анатаз-брукитами.

Изменение состава песчаников вверх по разрезу:

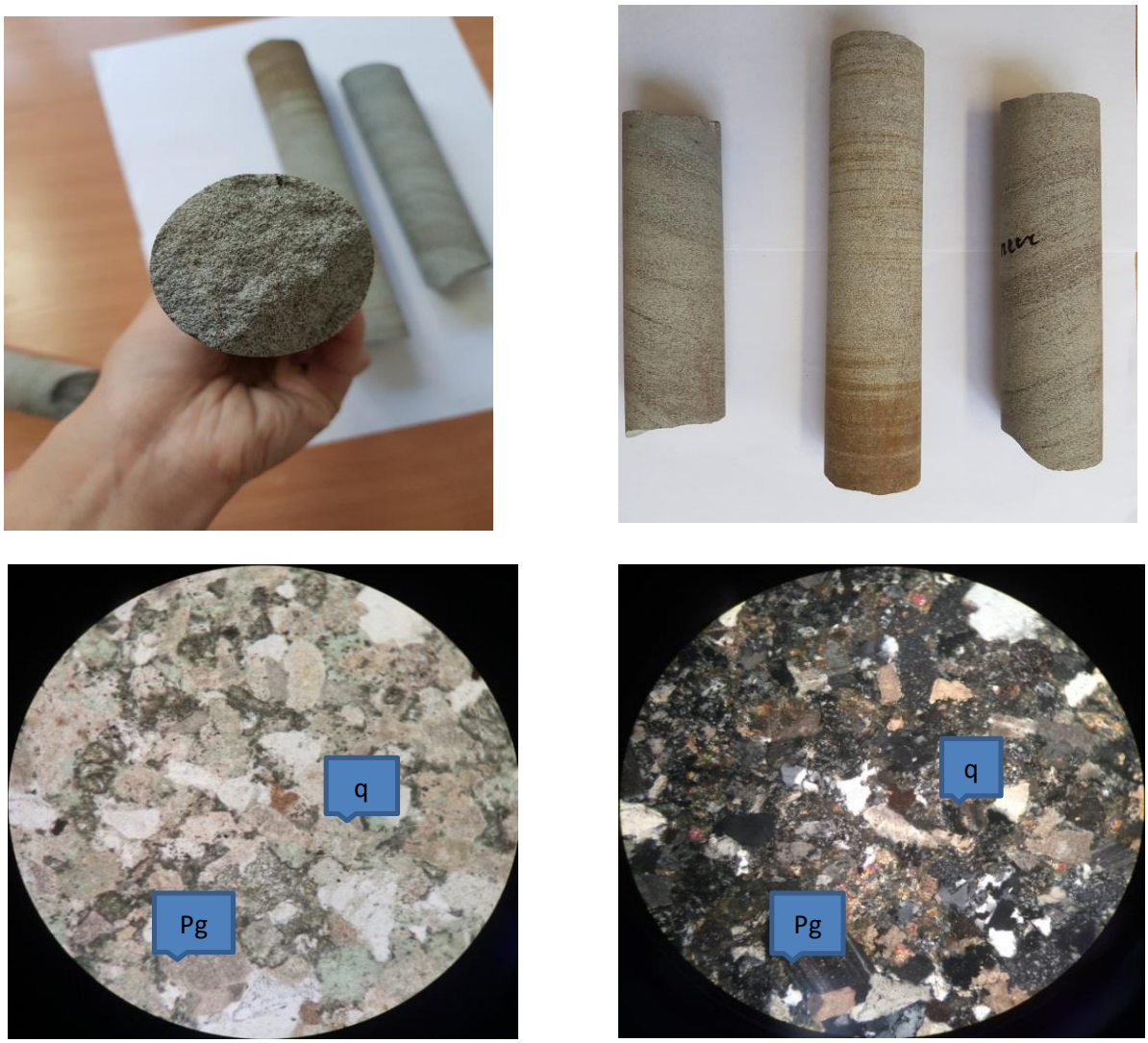


Рисунок 4.4 – Песчаники (фотографии в параллельных и скрещенных николях) *(Межкафедральная лаборатория ИГМЛ КазНИТУ)*

Песчаники с аккудукской до надкарагандинской свит характеризуются обломками основных эффузивами (порфиритами), верхняя часть карагандинской и долинской свит кислыми эффузивами. Для тентекской свиты характерны кислые и основные эффузивы. В шаханской свите встречаются обломки метаморфических пород.

К алевритовым породам применимы те же деления по текстуре, структуре, взаимоотношению с цементом, что и к песчаным породам. Поэтому по своим свойствам алевритовые породы, в особенности крупнозернистые разности, существенно не отличаются от песчаных пород. Нередко существуют незаметные переходы от алевритовых пород к песчаным.

Мелкозернистые алевритовые породы как правило, содержат значительную примесь глинистого материала и часто обладают свойствами, характерными для глинистых пород.

В отличие от песчаных частиц, алевритовые, при одних и тех же условиях транспортировки, обычно обладают значительно меньшей окатанностью, а мелкозернистые разности почти всегда имеют остроугольную форму.

Алевритовые породы пользуются очень широким распространением: почти во всех песчано-глинистых толщах присутствуют алевритовые пласты и прослои.

Важной особенностью алевритовых пород является повышенное содержание в них мономинеральных обломков по сравнению со смежными песчаными образованиями.

Алевритовые породы, как правило, характеризуются тонкой горизонтальной слоистостью. Реже в них наблюдается косая слоистость, причем наклон слойков в них значительно меньше, чем в смежных песчаных образованиях. Вследствие склонности влажных алевритовых осадков при небольшом наклоне дна бассейна к оползанию в алевритовых породах очень часто развиваются различные текстуры, обусловленные подводными оползнями осадков [63, с. 128].

Сцементированные алевритовые породы – алевролиты (рисунок 4.5) серого, зеленовато-серого цвета по составу схожие с песчаными породами. Также меняется слоистость алевролитов как в песчаниках. Если в составе алевролитов присутствуют туфы, образуются туфоалевролиты, которые преобладают в аккудукской свите. Перслаивание пелитового и псаммитового материала характерно для Карагандинского осадочного бассейна. Им характерна горизонтальная слоистость прибрежного мелководья. По условиям образования одинаковые с песчаниками.

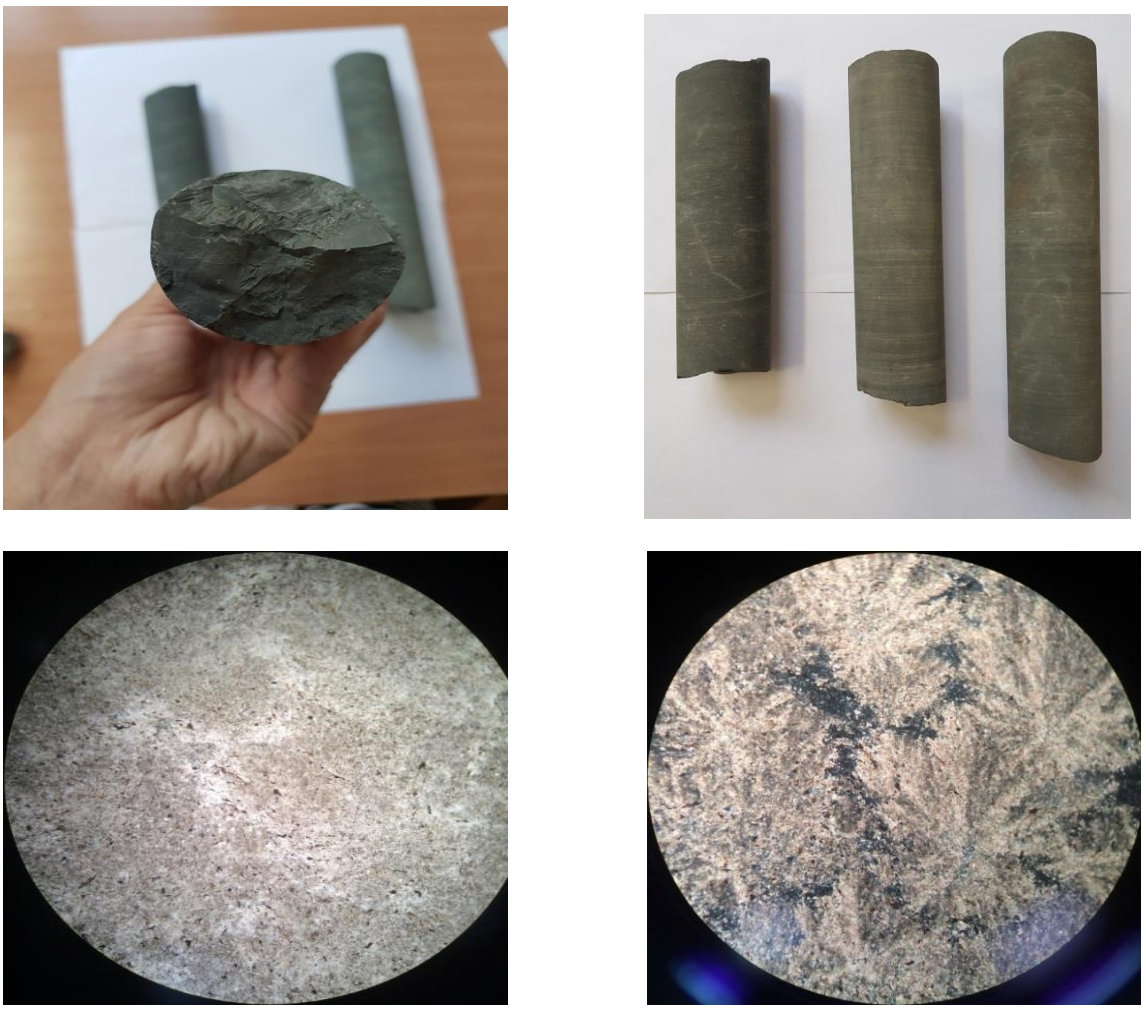


Рисунок 4.5 – Алевролиты (фотографии в параллельных и скрещенных николях) *(Межкафедральная лаборатория ИГМЛ КазНИТУ)*

Глинистые породы отличаются особой структурой, условием образования, составом и свойствами, в связи с этим образуют самостоятельную группу осадочных пород.

По степени уплотнения глинистые породы можно расположить в ряд: глины – уплотненные глины – аргиллиты.

Глинистые породы состоят из различных минералов, среди которых ведущую роль играют глинистые минералы и подчиненное значение имеют все остальные, то есть неглинистые минералы обломочного и аутигенного происхождения.

Наиболее широко развиты в глинах минералы каолинит, гидрослюды, монтмориллонит. Следующее место среди минералов глин занимают уцелевшие от разрушения обломки минералов материнских пород и самих пород, за счет которых образовался глинистый материал. К ним относятся кварц, полевые шпаты, слюды, хлориты, акцессорные минералы, обломки различных изверженных, метаморфических и осадочных пород.

Изучение петрографичесого состава глин имеет значение для восстановления состава пород питающих провинций, определения направления водотоков.

Следует отметить, что состав обломочного материала в глинах более однообразен, чем в переслаивающихся с ними алевритовых и песчаных породах. Поэтому изучение обломочных минералов глинистых пород как в легкой, так и тяжелой фракциях следует вести одновременно с изучением их в алевритовых и песчаных породах, переслаивающихся с глинистыми. При этом необходимо изучать обломоный материал в шлифах, так как состав обломков пород можно определить (хотя и не всегда) только этим путем.

Во всех фракциях глинистых пород, особенно крупнее 0,001 мм, кроме минералов обломочного происхождения, могут присутствовать аутигенные неглинистые минералы.

Характер сохранности растительных и животных остатков, их расположение, замещение разными минералами придают своеобразный облик первичным структурам глин и дают важные указания для познания условий образования глин [63, с. 153-154].

Аргиллиты – камнеподобные, совершенно не размокающие в воде глинистые породы. Они могут быть первичными (диагенетическими) и вторичными (эпигенетическими). Первичные аргиллиты возникают при диагенезе, когда уплотнение и цементация глинистых осадков происходит в связи со старением и кристаллизацией алюмо-кремневых гелей. Вторичные аргиллиты возникают при эпигенезе и в самой начальной стадии метаморфизма [63, с. 147].

Аргиллиты (рисунок 4.6) – это плотные пелитовые породы, серого, темно-серого цвета. Вещественный состав аргиллитов составляют в основном каолин, затем могут встречаться минералы монтмориллонитового ряда, гидрослюда и хлорит.

Зеленоватый оттенок аргиллитов надкарагандинской, долинской и шаханской свит обусловлено преобладанием в составе хлорита. Эти аргиллиты имеют массивную текстуру, в этих породах отсутствует слоистость, которая присуще к осадочным породам. Аргиллиты фации лагун имеют слабую горизонтальную слоистость, а отложения озерной фации – отчетливую горизонтальную слоистость. Аргиллитам характерны присутствие в составе органических остатков и детритов. Такие аргиллиты называются углистыми аргиллитами, это переходные породы между углем и аргиллитом и они чаще всего залегают непосредственно над пластом, образуя ложную кровлю при разработке угольных пластов [66, 67].

А также присутствуют в толще угленосных пород гравелиты, конгломераты, вулканические туфы, карбонатные породы.

Грубообломочные породы не всегда встречаются в разрезе бассейна, мощность их малая около 1 м. Они редко присутствуют в нижних свитах. Галька гравелитов и конгломератов нижнего и среднего карбона представлена типичными породами бассейна. Незначительный перенос кластического

материала ярко выражен по окатанности обломков, обломки гравелитов и конгломератов слабо окатаны. Эти породы характерны карагандинской свите.

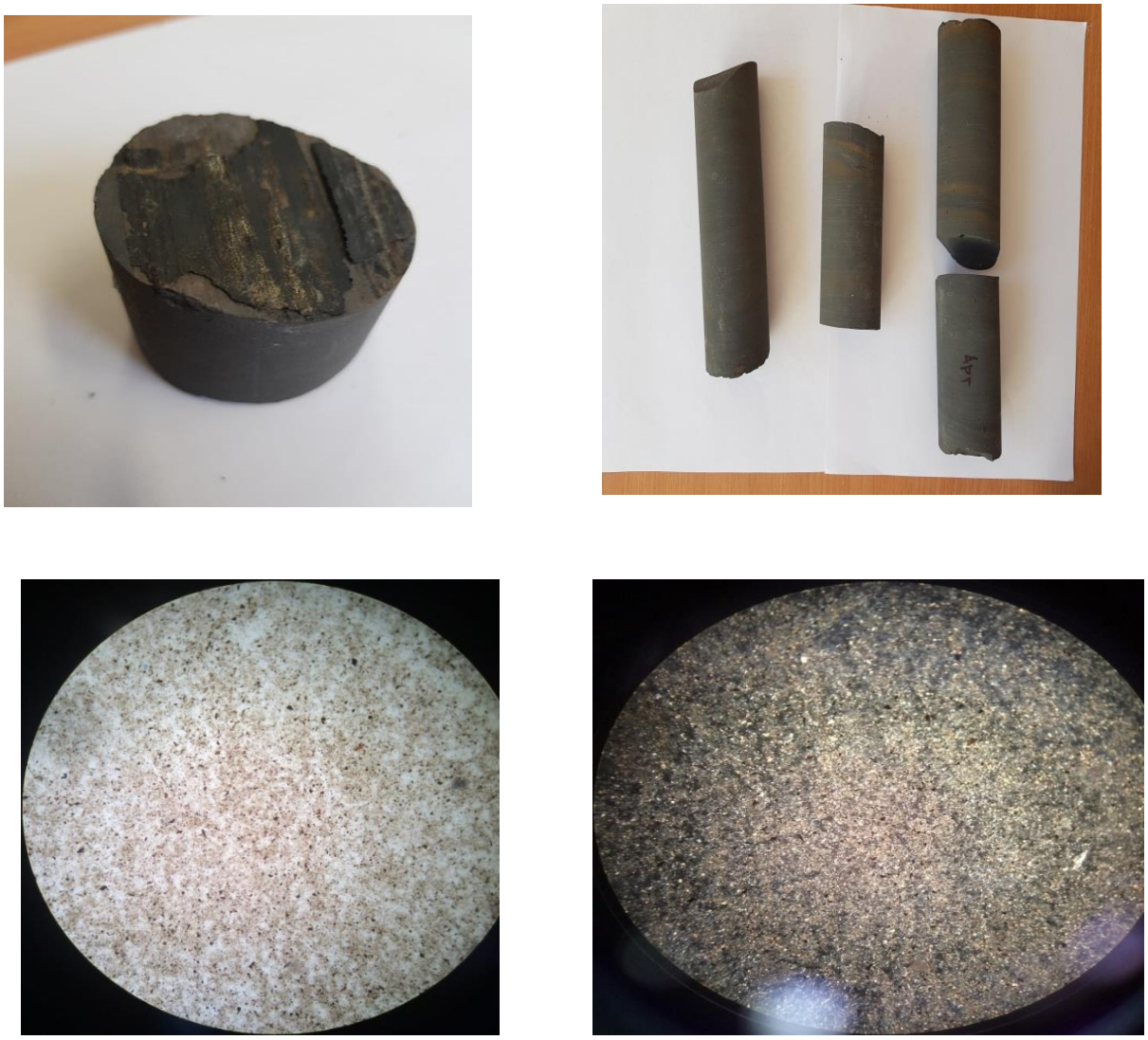


Рисунок 4.6 – Аргиллиты (фотографии в параллельных и скрещенных николях) *(Межкафедральная лаборатория ИГМЛ КазНИТУ)*

Верхние свиты – тентекская и шаханская свиты характеризуются мощными слоями грубообломочных: гравелиты – до 10 м и более, конгломераты – несколько метров. Обломки хорошо окатаны и размеры кластического материала уменьшаются вверх по разрезу. Они слагают среднюю часть тентекской свиты и нижнюю часть шаханской свиты.

Конгломераты верхних свит представлены магматическими и метаморфическими породами: гранитами, гранодиоритами, порфиритами, кварцевыми порфиримаи, альбитофирами, кремнистыми сланцами, кварцитами и другие. Резкое расширение области сноса терригенного материала в начале позднего карбона выражается присутствием обломков магматических и метаморфических пород в верхних свитах.

Теректинские слои, аккудукская, долинская, тентекская и шаханская свиты характеризуются небольшими прослоями вулканических туфов, состоящих из альбитизированного и карбонатизированного кластического материала: кварца, полевых шпатов, кристаллами апатита и сфена. Пепловые частицы характеризуются серповидной формой. Туфы постепенно переходят в углевмещающие отложения.

Вулканические туфы аккудукской свиты имеют мощность до 0,5 м. Туфы кварцевых порфиров верхних частях долинской и тентекской, средней части шаханской свит имеют мощность 2-5 м.

Границы туфов в угленосных отложениях отчетливая, вверх по разрезу увеличивается количество кластического материала и они постепенно переходят в углевмещающие породы.

По В.В. Копериной пирокластические зерна кварца, плагиоклазов, калиевого полевого шпата, роговой обманки, пластинки биотита погружены в пепловый материал. Форма и размеры пепла разные, размеры уменьшаются от почвы к кровле горизонта. Вулканические туфы хлоритизированы, каолинизированы, карбонатизированы.

Конкреции, тонкие прослои и линзы известняков, мергелей и сидеритов в Карагандинском бассейне встречаются редко и составляют около 1,5% от мощности. Они имеют разные формы, размеры и состав. По В.В. Копериной подразделены на 2 группы: сидеритовая и кальцитовая. В породах этих групп также встречаются доломит, брейнерит и другие карбонаты. При влажном климате образуются сидеритовые конкреции озерных и болотных фаций долинской и тентекской свит. В более засушливых климатических условиях образовались кальцитовые конкреции фаций сухих равнин надкарагандинской и особенно шаханской свит. Угольная карагандинская свита характеризуется смешанным составом конкреций. Верхняя часть имеет сидеритовую группу, нижняя – кальцитовую. По исследованиям Н.В. Ренгартен (1954) и А.А. Петренко были отмечены примесь фосфатов в глинистых и кальцитовых конкрециях аккудукской свиты.

Почти все свиты имеют маломощные прослои и линзы известняков и мергелей. По текстуре известняки массивные, мергели – «конус в конусе». Ащылыайрыкская свита имеет довольно частые прослои ракушника среди песчаников. Верхняя часть надкарагандинской свиты характеризуется остракодами и гастроподами, довольно устойчивый горизонт по составу [20, с. 94; 68].

Присутствие аутигенных минералов свидетельствует о формировании их в результате выветривания вулканогенно-осадочных отложений из северных участков каледонских консолидации и Спасской зоны. Можно судить о сносе терригенного материала из этих участков. Гальки диабазовых порфиритов говорят о возможном поступлении продуктов размыва из гор Байдаулет.

Терригенные минералы в свитах также встречаются в составе гранитов и гранодиоритов вышеназванных участков. Это свидетельствует о том, что эти

участки являются питающими провинциями, и продукты сноса формируют обломочные породы Карагандинского осадочного бассейна.

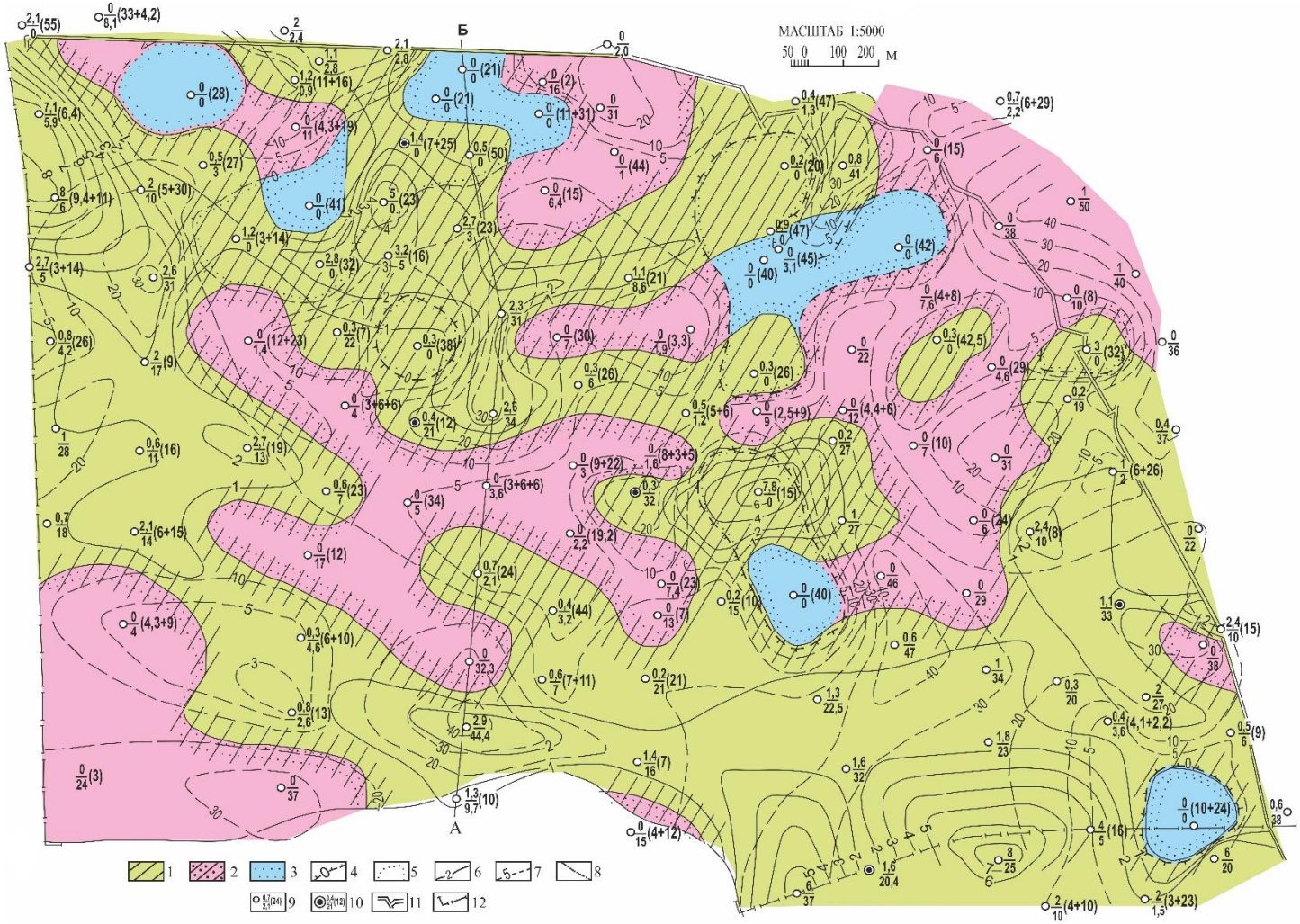
Хорошо окатанные гальки порфиритов, альбитофиров, гранитов, кварцитов в составе конгломератов шаханской и тентекской свит возможно поступал из дальних северо-западного и северного участков питающих провинций – из района гор Сункар.

Наличие в составе полевого шпата, кварца и других вышеназванных минералов формируют высокую прочность пород бассейна, что в свою очередь влияет на устойчивость кровли горных выработок при эксплуатации седиментационного бассейна. Геологическая среда гетерогенно и она проявляется во всех свойствах угольного массива, поэтому знание природы формирования способствует лучшему пониманию и решению задач, связанных с управлением кровли и устойчивостью горных пород, слагающих кровлю. Такой вид изучения обеспечивает информацией о литолого-фациального формировании и строении углевмещающих пород, четко представляя картину образования седиментационного бассейна во времена геологического развития.

Такой подход изучения имеет не только теоретические выводы, но и способствует к решению практических задач. Основываясь на данных литолого-фациального анализа построена литологическая карта (рисунок 4.7) кровли угольного пласта $д_6$ шахты им. В.И. Ленина в качестве примера для Карагандинского каменноугольного бассейна.

В результате исследования установлена закономерная связь между горнотехническими и геологическими условиями разработки шахтных полей бассейна. К горнотехническим условиям относятся управление горным давлением, устойчивость кровли очистных выработок, типы механизированных крепей и другие. Геологические факторы – это условия образования пород при различном палеоклимате и палеогеографии. Одни и те же породы, но формировавшиеся в различных фациальных условиях и постдиагенетических изменениях (эпигенез, катагенез, метагенез) имеют различные показатели физико-механических свойств.

Можно сделать вывод о том, что физико-механические свойства горных пород обусловлены геологической природой образования и изменением их в последующие стадии. Изменение фациального типа по площади и латерали наглядно представляет картину восстановления геологической истории развития в виде литологических карт. Данные карты используются при прогнозе состояния угленосного массива и определении физико-механических свойств пород в горных выработках, выявления неблагоприятных геологических явлении в шахтах и заблаговременному устранению их во избежание чрезвычайных ситуаций, связанных с вывалом и обрушением пород, взрывом метана.



Породы, непосредственно налегающие на пласт: 1 – аргиллиты, 2 – алевролиты, 3 – песчаники; контуры развития пород верхних слоев кровли: 4 – алевролитов, 5 – песчаников; изомощности: 6 – аргиллитов, 7 – алевролитов, м; 8 – разрывное нарушение, 9 –разведочная скважина, цифры: числитель – мощность аргиллитов (первый слой кровли), знаменатель – алевролитов (второй слой), справа дроби-песчаников (третий слой), 10 – опробованная скважина, 11 – нижняя граница горных работ, 12 – граница шахтного поля.

Рисунок 4.7 – Литологическая карта кровли пласта $д_6$ шахты имени В.И. Ленина

4.3 Постседиментационные преобразования горных пород

На территории Казахстана локализовано множество месторождений рудных, горючих и неметаллических полезных ископаемых в разновозрастных горных породах различных структурно-тектонических ярусов. Осадочные горные породы, слагающие эти месторождения, зачастую являются вмещающими полезные ископаемые породами или сами являются полезными ископаемыми. В зависимости от возраста и приуроченности к определенному структурно-тектоническому ярусу породы находятся на различных стадиях постседиментационного преобразования. По степени преобразования органических веществ на различные виды ископаемого угля горные породы этих месторождений можно отнести к раннему (угли марки 1Б, 2Б, 3Б и Д), среднему (Г, Ж, К) и позднему (ОС, СС, Т) катагенезу. Инженерно-геологические исследования на месторождениях Жезказганского рудного района, Карагандинском и Екибастузском каменноугольных бассейнах, Майкубенском буроугольном бассейне и Шубаркольском каменноугольном месторождении юрского возраста и анализ данных по месторождениям показывает, что физико-механические свойства осадочных пород обусловливаются степенью их преобразования. По данным этих исследований выделены геологические условия степени преобразования терригенных пород, которые служат основой для прогноза их физико-механических свойств.

Диагенез и катагенез пород происходят под действием возрастающего геостатического давления и выражаются постепенном уменьшении пористости и увеличении плотности пород. Поэтому одновозрастные осадочные образования одного типа (но с разных глубин) могут существенно различаться по пористости и плотности. Наибольшее уплотнение испытывают глинистые породы, обладающие пластичными связями (системы мелкодисперсные), поэтому и более пористые в начальном состоянии [69].

В таблице 4.3 приведены значения предела прочности при одноосном сжатии, плотности и пористости основных гранулометрических групп углевмещающих пород Карагандинского бассейна и сравнение свойств терригенных пород по стадиям изменения для некоторых месторождений Казахстана.

Катагенез

Ранний (начальный) этап катагенеза характеризуется сохранением неизмененного или слабоизмененного глинистого вещества цемента обломочных и основной массы глинистых пород. Пористость горных пород еще высокая (до 15-30 %), в составе толщи широко развиты довольно рыхлые и слабосцементированные породы плотностью 1,8-2,2 г/см^3. Мощность осадочных толщ буроугольных месторождений с начальным катагенезом пород составляет от 100-200 до 700-900 м. Физико-механические свойства горных пород зависят от глубины залегания, например, на глубинах до 100-200 м их пористость П = 20-25 %, плотность ρ=1,8-2,0 г/см^3, предел прочности при одноосном сжатии σ_c не более 5-15 МПа и растяжении σ_p до 1-2 МПа. С

увеличением глубины залегания породы приобретают свойства соответственно П=15-20%, ρ=2,0-2,4 г/см^3, а их прочность дифференцируется по литологическим типам: для аргиллитов σ_c=10-15 МПа, для алевролитов σ_c=15-25 МПа и для песчаников σ_c до 30-50 МПа [51, с. 85-86; 70].

Таблица 4.3 – Изменение физико-механических свойств горных пород по стадиям постседиментационного преобразования (Байбатша А.Б., 2002)

Бассейн, месторождение (стадия изменения пород – органического вещества)	Название пород и их свойства					
	Песчаники		Алевролиты		Аргиллиты	
	σ_c,МПа	П,%	σ_c,МПа	П,%	σ_c,МПа	П,%
Майкобенский, Шубаркольское (ранний катагенез – 3Б, Д)	20-40	12-17	15-25	15-20	10-15	15-20
Карагандинский, Екибастузский (средний и поздний катагенез – Ж, К, ОС)	60-140	6-12	30-60	8-13	20-40	10-15
Жезказганское, Итауз (поздний метагенез – антраксолиты, графитизированное вещество)	160-280	2-4	60-120	3-5	30-60	4-6

Анализы проб горных пород толщ раннего катагенеза показывают, что глинистые породы представлены в основном каолинитом (74 %), гидрослюдой (22 %) и в незначительном количестве присутствуют смешаннослойные минералы (4 %). Породы раннего катагенеза характеризуются переходом глин стадии диагенеза в легко размокаемые в воде аргиллиты, песков – в слабо сцементированные песчаники, а органических веществ – в плотные бурые угли или даже в длиннопламенные каменные угли. Горные породы ниже глубины зоны выветривания и разуплотнения характеризуются благоприятными физико-механическими свойствами, обеспечивающими достаточную устойчивость горных выработок при разработке месторождний полезных ископаемых.

В среднем этапе катагенеза глинистые и тонкообломочные породы превращаются в плотные аргиллиты и алевролиты, слабые песчаники – в прочно сцементированные разности, бурые и длиннопламенные угли – в газовые, жирные и коксовые. Заметные изменения происходят в вещественном составе терригенных пород. По данным рентгеноструктурных и термических анализов проб Карагандинского каменноугольного бассейна, отобранных на глубинах расположения рабочих горных выработок действующих шахт, глинистые минералы горных пород состоят из смешаннослойных соединений (43 %), каолинита (32 %), гидрослюды (16 %) и хлорита (9 %). Смешаннослойные минералы представлены упорядоченным иллит-калиевым ректоритом, по

структуре представляющим собой «разбавленный» иллитовыми слоями монтмориллонит, но отличающийся от монтмориллонита меньшей способностью к набуханию [51, с. 87].

Осадочные толщи среднего этапа катагенеза в зависимости от степени преобразования литологических типов пород характеризуются более стабильными значениями физических свойств (пористость порядка 8-15 %, плотность – 2,4-2,6 г/см^3) и более дифференцированными значениями прочностных свойств (аргиллиты имеют σ_c=10-25 МПа, σ_p=1-3 МПа, алевролиты σ_c=20-40 МПа, σ_p=2-5 МПа и песчаники σ_c=50-100 МПа, σ_p=3-8 МПа).

Поздний этап катагенеза знаменуется появлением первых признаков растворения и перекристаллизации компонентов пород. По данным лабораторных исследований наблюдается заметная гидрослюдизация (до 50 %) и хлоритизация (до 20 %) глинистого вещества цемента обломочных и основной массы глинистых пород. Пористость горных пород уменьшается от 10-15 до 5 % и соответственно плотность их приобретает более стабильные и высокие значения порядка 2,50-2,65 г/см^3. Глинистые породы превращаются в аргиллиты, не размокаемые в воде, песчаники – в высокопрочные породы, газовые и жирные угли – в отощенные спекающиеся и тощие марки. Степень преобразования вещественного состава и физического состояния пород находит отражение в формировании их физико-механических свойств соответственно по литологическим типам: песчаники имеют значения прочности σ_c=80-160 МПа и σ_p=5-10 МПа, алевролиты σ_c=30-60 МПа и σ_p=3-6 МПа и аргиллиты σ_c=20-40 МПа и σ_p=2-4 МПа [51, с. 88].

Закономерности изменения вещественного состава, структуры и физико-механических свойств горных пород на различных этапах их катагенетического преобразования подтверждаются исследованиями многих авторов. Так, В.Д. Ломтадзе (1953) выполнил экспериментальные исследования изменения физических свойств глинистых пород путем уплотнения большими нагрузками от 6 до 500 МПа, имитирующими их глубины погружения в естественном залегании от 200 м до 20 км. Наблюдения в природе и опыты в лаборатории дают достаточно согласованные результаты (таблица 4.4).

Приведенные в таблице 4.4 результаты свидетельствуют о том, что при постепенном уплотнении резкие изменения свойств глинистых пород происходят во время перехода от глин к аргиллитам и от аргиллитов к глинистым сланцам. Эти рубежи отделяют этапы раннего и среднего катагенеза от позднего катагенеза и поздний катагенез от стадии метагенеза. В то же время четких границ между диагенезом и катагенезом не наблюдается. При уплотнении глин в природных условиях кроме давления играют роль температура и геологическое время, при совокупном влиянии которых формируются свойства глинистых пород в разновозрастных осадочных толщах различной мощности [71].

Плотность псаммито-алевритовых пород изменяется в широких пределах. Это связано с изменением плотности и зависимость между плотностью и пористостью линейная. Наблюдается с увеличением глубины залегания и давления повышаются значения плотности и уменьшаются значения пористости.

Таблица 4.4 – Формирование свойств глинистых пород при литификации (В.Д. Ломтадзе, 1953)

Показатель	Глинистый ил	Глина мягкая	Глина уплотненная	Аргиллит	Аргиллит сланцеватый
Естественная влажность, %	75–80	30–80	12–35	3–15	3–4
Пористость,%	75–80	40–80	25–45	4–30	4–5
Плотность, г/см^3	0,6–0,8	0,8–1,4	1,35–1,90	1,90–2,65	2,65–2,75
Консистенция	Жидкая, вязко-текущая	Текущая, пластичная	Пластичная, полутвердая	Полутвер-Дая	Твердая

Изменение этих свойств связано с укладкой частиц, гранулометрическим составом, количества и структуры цемента, раздробленностью зерен, которое выражается коэффициентом изменения структуры зерен $K_З$. Уплотнение обломочных пород начинается с раздробления зерен. При максимально сближенных зернах происходит частичное раздробление, в дальнейшем эти зерна растворяются и уплотняются. Растворенные зерна под давлением осаждаются. Обычно осаждается кремнезем.

Изменение физико-механических свойств горных пород в зависимости от их степени постседиментационного преобразования, количественно выраженного посредством коэффициента изменения структуры зерен $K_з$, наглядно показано на рисунке 4.8. Горные породы, вступив в стадию развития раннего катагенеза, приобретают свойства полускальных пород и допускают при ведении в них горных работ достаточно устойчивые обнажения. В такой стадии находятся горные породы Шубаркольского каменноугольного (угли марки Д) и Майкюбенского буроугольного (угли марки 3Б) бассейна юрского возраста, которые разрабатываются открытым способом крупными разрезами. Горные породы верхнего палеозоя в зависимости от особенностей протекания в них разнообразных механических и физико-химических процессов, интенсивность которых определяется тектонической напряженностью в каждом конкретном районе, могут находиться на различных этапах катагенеза и метагенеза.

В зависимости от степени преобразования пород изменяются и их физико-механические свойства. Как видно из рисунка 4.8, пористость горных пород интенсивно снижается в завершающий этап диагенеза и начальный этап катагенеза, в позднем катагенезе наблюдается замедление снижения, а в метагенезе – почти стабилизируется. Аналогичным образом, но в обратном порядке, изменяется плотность горных пород [70, с. 655].

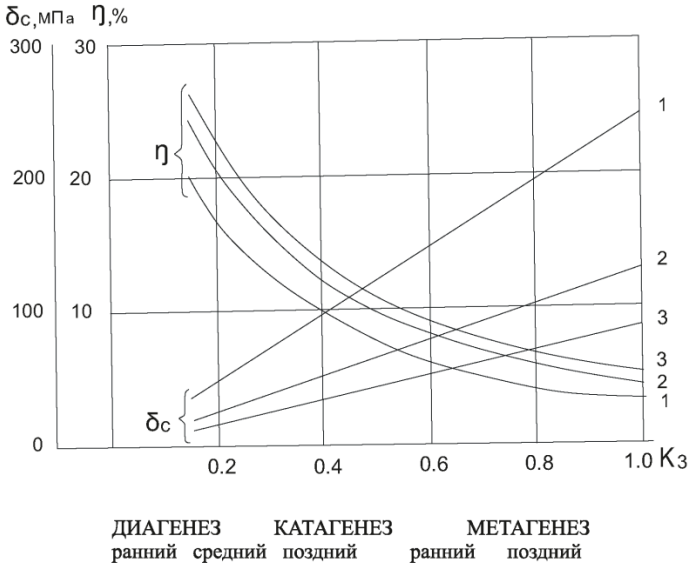


Рисунок 4.8 – Степени постседиментационного преобразования

4.4 Отражательная способность витринита как показатель степени постдиагенетических изменений пород

Угли и вмещающие их породы в геологическом разрезе любого участка земной коры образуют всегда единый комплекс осадочных образований. Процесс их изменения на рассматриваемом этапе литогенеза протекает одновременно, но проявляется неодинаково в связи с различным вещественным составом их. Поэтому связь метаморфизма углей с литификацией вмещающих пород и изменениями их свойств вполне естественна и закономерна. На это обращали внимание Ю.А. Жемчужников, Н.В. Логвиненко, Е.О. Погребицкий, П.В. Зарецкий, М. Л. Левенштейн, В.Л. Свержевский, Б.К. Чичуа и многие другие исследователи. Особенно большой интерес в этом плане представляют работы С.И. Малинина и В.Е. Забигайло, А.З. Широкова и другие [72].

Учет метаморфизма углей при решении горно-геологических задач имеет огромное значение. Метаморфизм в Карагандинском бассейне проявляется в увеличении его степени: 1) со стратиграфической глубиной залегания пластов согласно закону Хильта-Скока (по правилу Хильта: параллельно с изменением физических свойств вмещающих пород наблюдается изменение этих же свойств и степени углефикации углей); 2) по мере увеличения мощностей угленосных толщ; 3) в разрезе по падению пластов с увеличением современной глубины их залегания [20, с. 162].

В Карагандинском бассейне учет влияния постинверсионной составляющей метаморфизма позволил уточнить прогнозы распространения углей по маркам на его глубоких горизонтах.

Изучение степени метаморфизма углей позволяет решать задачи, связанные с прогнозированием устойчивости кровли угольных пластов в горных выработках, которая в свою очередь зависит от физико-механических свойств пород.

Задачей исследования является оценка изменений органического вещества, в данном случае витринита, установление взаимосвязей между количественными петрографическими особенностями, свойствами углей и физико-механическими свойствами углевмещающих пород. Для количественной оценки степени метаморфизма углевмещающих пород, от которой зависят их физико-механические свойства, применялись показатели отражательной способности витринита и его показатели преломления, измеренные в иммерсиях. Такие исследования проведены нами совместно с китайскими коллегами в лаборатории State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Пекин, Китай).

Как было отмечено J.T. McCartney, M. Teichmuller (1972), М.А. Ермековым (1990) степень метаморфизма углей, оцениваемая по отражательной способности витринита, служит как «геологический термометр» и позволяет восстановить геологическую историю развития, в частности, глубину погружения горных пород и длительность их пребывания на максимальной глубине. Математическая модель метаморфизма углей, созданная профессором М.А. Ермековым (1990) на основе топокинетического уравнения Колмогорова-Ерофеева, имеет вид:

$$I = 100\left[1 - e^{-\sum t\exp(B-A/T)}\right] \qquad (4.1)$$

где I – импульс метаморфизма по М.В. Голицыну (1975), °С/млрд лет; t – продолжительность пребывания угля (углевмещающих пород) на заданной глубине, млрд лет; T – абсолютная температура угля в недрах, °К.

Для процесса регионального метаморфизма углей Карагандинского каменноугольного бассейна коэффициенты уравнения (4.1) принимают следующие значения: A=7300, B=21,6. Результаты расчета проф. М.А. Ермекова (1990) приводят к следующим выводам: метаморфизм углей начался в начале верхнего карбона по прошествии 30-35 млн лет с начала отложения ащылыайрыкской свиты, т.е. после отложения всей угленосной толщи. Погружение нижней части толщи при этом сопровождалось повышением температуры до 70°С. Процесс дальнейшего метаморфизма был интенсивным и завершился к началу верхней перми, когда погружение превысило 5 км, а температура достигла 135-140°С. После инверсии в конце верхней перми нижняя граница угленосной толщи поднимается до значения 3 км и снижение ее температуры до 80-85°С резко затормозило процесс метаморфизма. Импульс метаморфизма был при этом 85 %.

Принятое М.В. Голицыным (1975) соответствие температур регионального и контактово-термального метаморфизма стадиям метаморфизма карбоновых углей Центрального Казахстана сохраняется и по расчетным импульсам метаморфизма для продолжительности регионального метаморфизма, принятой равной 10 млн лет, а продолжительность термального метаморфизма – 5 тыс. лет (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Значения температуры и импульса при региональном и термальном метаморфизме

Стадия метаморфизма углей	Марки углей	Региональный		Термальный	
		Средняя температура, °С (Голицын, 1975)	Расчетный импульс, % (Ермеков, 1990)	Средняя температура, °С (Голицын, 1975)	Расчетный импульс, % (Ермеков, 1990)
I	Д	60	0,7	-	-
II	Г	85	3,3	до 300	3,3
III	Ж	110	11,9	325	5,3
IV	К	130	27,9	412	24,6
V	ОС	148	50,7	475	50,0
VI	Т	163	72,4	525	72,2
VII-VIII	А	185	94,4	575	88,8
IX-X	А	250	100	695	99,8
Марки углей: Д – длиннопламенный, Г – газовый, Ж – жирный, К – коксовый, ОС – отощенный спекающийся, Т – тощий, А – антрацит					

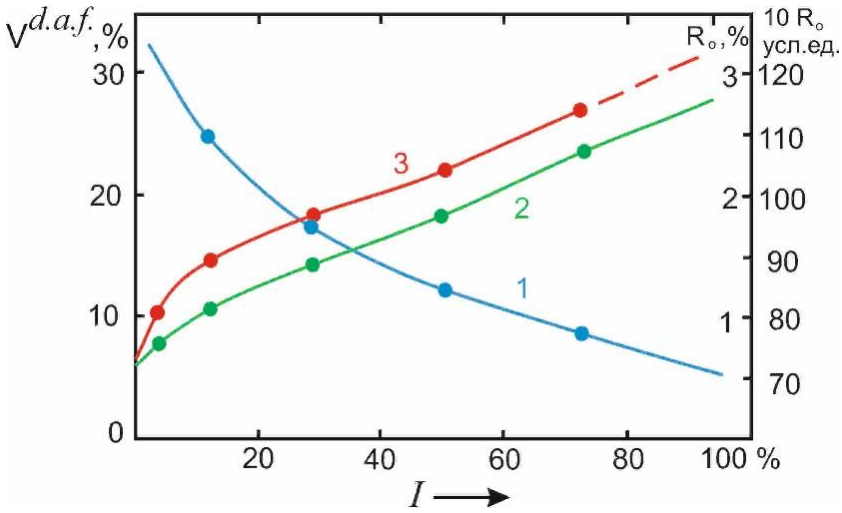
Согласно предлагаемой модели профессора М.А. Ермекова (1990) установлено изменение показателя отражательной способности витринита (R_0) от стадии метаморфизма (I) (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Показатели метаморфизма угля

Стадия метаморфизма углей	$V^{d.a.f.}_{ср}$, %	R_0, %	$10R_0$, усл.ед.	I, %
Д	-	0,58	73,5	0,72
Г	32	0,79	80,5	3,3
Ж	25	1,07	88,5	11,9
К	17	1,40	96,5	27,9
ОС	12,5	1,80	104,0	50,7
Т	9	2,37	114	72,4
А	-	2,77	121	94,40

В результате исследований установлено, что с глубиной погружения угольных пластов уменьшается выход летучих, увеличивается отражательная способность витринита, соответственно изменяется марочный состав углей от бурого до антрацита (рисунок 4.9).

Следовательно, физические свойства вмещающих пород являются индикаторами марочного состава углей и метаморфизма [76]. Это объясняется тем, что стратиграфические закономерности в изменении физических свойств углей и вмещающих обусловлены одной и той же причиной – максимальной глубиной их погружения в период прогрессивного эпигенеза.



1 – $V^{d.a.f.}$; 2 – R_o; 3 – $10R_o$ усл.ед.

Рисунок 4.9 – Зависимость выхода летучих, показателей отражательной способности от «импульса» метаморфизма (М.А. Ермеков, 1990)

По ISO 11760, ASTM D388, ASTM D2798 физические и химические свойства угля определяются его геологической зрелостью (ранг), петрографическим составом и количеством (а также характером и формой ассоциации) присутствующего минерального вещества. Таким образом, для простоты эта классификация для углей основана на следующих свойствах угля: коэффициент отражения витринита, выраженный в процентах: среднее случайное отражение, R_r, которое определяется непосредственно или рассчитывается из R_{max}. По данному стандарту угли подразделяются на три ранга: нижний (бурый уголь и полубитуминозный уголь), средний (каменный уголь) и высокий (антрацит). По ГОСТ 25543-88 на основе показателей отражательной способности витринита ископаемые угли подразделяют также на три вида: бурые, каменные угли и антрациты или, которые в зависимости от генетических их особенностей делятся на 50 классов по среднему показателю отражения витринита R_o, определяемого по ГОСТ 12113-94. Бурые угли характеризуются средним показателем отражения витринита R_o менее 0,60 %, каменные угли – R_o=0,40-2,59 %, антрациты – 2,20 и более. Выделенные 50 классов углей характеризуют степень постседиментационного преобразования вмещающих их горных пород от стадии начального катагенеза до стадии метагенеза включительно. Параметр $H_{стр}$, показывающий стратиграфические уровни залегания терригенных пород по степени их постседиментационного преобразования, в данном случае увеличивается от позднего метагенеза до начального катагенеза, приобретая значения соответственно $H_{стр}$=1…10.

Математическая обработка результатов полевых и лабораторных исследований с учетом совокупного влияния всех выделенных петрографических и геологических признаков позволила создать универсальные геолого-математические модели физико-механических свойств горных пород в терригенных формациях. Так, многомерные геолого-математические модели

предела прочности при одноосном сжатии по основным литологическим типам пород терригенной толщи выражаются следующим образом [51, с. 143]:

для мелко- и среднезернистых песчаников:

$$\sigma_c=166,46-0,37X_3+0,06X_4+0,123X_5+0,652X_6-0,42X_7+$$
$$+0,23C_1+0,45C_2+0,52C_3-0,01Ц_1-0,16Ц_2+0,26Ц_3+0,017H-2,99H_{стр},\ R = 0,99; \quad (4.2)$$

для тонкозернистых песчаников:

$$\sigma_c=65,75-0,06X_1+0,156X_2+0,7X_3+0,24C_1+0,2C_2+$$
$$+0,41C_3-0,027Ц_1-0,033Ц_2+ +0,69Ц_3++0,032H-2,24H_{стр},\quad R = 0,98; \quad (4.3)$$

для алевролитов:

$$\sigma_c=47,74+0,1X_1+0,286X_2+0,012C_1+0,047C_2+0,067C_3-$$
$$0,06Ц_1+0,034Ц_2+0,32Ц_3+ +0,05H-1,28H_{стр},\quad R = 0,96; \quad (4.4)$$

для аргиллитов:

$$\sigma_c=35,4+0,29X_1+0,157Ц_2+0,515Ц_3+0,004H-0,52H_{стр},\quad R = 0,92, \quad (4.5)$$

где фракции, мм: X_1 – 0,01-0,05, X_2 – 0,05-0,1, X_3 – 0,1-0,2, X_4 – 0,2-0,3, X_5 – 0,3-0,4, X_6 – 0,4-0,5, X_7 – 0,5-1,0; кластический материал: C_1 – кварц, C_2 – сумма полевых шпатов, C_3 – сумма горных пород; цемент: $Ц_1$ – глинистый, $Ц_2$ – карбонатный, $Ц_3$ – кремнистый; H, м – глубина залегания терригенных пород.

Коэффициенты множественной корреляции, представляющие собой меру совокупного влияния всех приведенных геолого-петрографических факторов, имеют значения от 0,92 до 0,99, т.е. связь их с прочностными свойствами пород приближается к функциональной.

Углевмещающие породы в пределах одного месторождения с одинаковым литологическим составом характеризуются изменчивостью физико-механических свойств вследствие термодинамических условий в различных геолого-структурных участках месторождения. Это выражается в физико-механических свойствах пород и метаморфизме угле в зонах глубинного разлома и на современных участках бассейна одного уровня в доинверсионный период развития бассейна. Такое различие в метаморфизме углей и физико-механических свойствах наблюдаются на юге Карагандинского седиментационного бассейна вдоль субширотного Жалаирского глубинного надвига. В зоне разлома залегают угли марки Т, вне зоны на этом же стратиграфическом горизонте встречаются угли марок Ж и К [77].

На начальных стадиях породы не претерпевают изменений минерального состава, глинистого вещества цемента обломочных пород и наблюдается средняя степень литификации, в которой формируются угли марок Б, Д, Г в уплотненных глинах.

Следующая стадия характеризуется более высокой степенью литификации и метаморфизма. Глины превращаются в аргиллиты, происходят вторичные изменения минерального состава. Начинают развиваться по глинистым минералам гидрослюды, биотиты претерпевают гидратацию, происходит замещение плагиоклазов гидрослюдой, кварц принимает новую форму с расплывчатыми облачными контурами. Эти изменения сопровождаются метаморфизмом углей и глинистые породы переходят в аргиллиты высокой степени литификации. На этой стадии образуются угли марок Ж, К и С.

На конечной стадии преобразования плотные аргиллиты переходят в сланцеватые аргиллиты и глинистые сланцы. Происходят изменения минерального состава и строения. В составе пород преобладают гидрослюды развитые по первичным минералам обломочных пород. В породах наблюдается перекристаллизация в твердом состоянии (бластез) минералов, образование вторичного кварца, биотит полностью замещается мусковитом, хлоритом. На этой стадии происходят существенные изменения минерального состава и строения, отвечающие весьма высокой степени литификации, в некоторой степени метаморфизованности пород. Формирование углей марок Т и А сопровождаются вышеназванными преобразованиями.

Карагандинский угольный бассейн характеризуется различными палеотектоническими и палеогеографическими условиями на разных этапах геолого-тектонического развития. Учитывая влияние глубины погружения пород и времени пребывания их на максимальной глубине, то есть на глубинах более 1000 м усиливается метморфизм углей и литификация пород. На данной глубине жирные и коксовые угли переходят в отощенно-спекающиеся угли. В зависимости от глубины залегания пластов определяются их технологические свойства, которые определяют их марки. Угли ащылыайрыкской и низов карагандинской свит марок К, ОС, Ж характеризуются высокой зольностью, трудной обогатимостью, используются в качестве кокса. Угли долинской и низов тентекской свит жирные и коксовые, легко обогащаются, используются в коксохимии в качестве ценного сырья. Угли верхов тентекской свиты газовые, используются в энергетике, трудно обогащаются.

В Карагандинском каменноугольном бассейне добываются коксующиеся угли, которые составляют от общей добычи 82,2 %. Геологоразведочные работы проведены до глубин 500-700 м, освоена горной промышленностью до глубин 400-500 м.

Возможность оценки свойств углей по показателю отражательной способности витринита является важным фактором в петрографическом анализе, так как его можно использовать не только для углей, но и для их вмещающих глинистых и песчаных пород. Данный метод оценки имеет значение также в связи с увеличением объема геологоразведочных работ на попутный метан, с подготовкой новых шахтных полей на большие глубины, когда керн угля будет единственным угольным веществом для суждения о свойствах угля.

Постдиагенетические изменения горных пород при различной степени литификации и метаморфизме углей формируют литологический состав

вмещающих углей пород и их физико-механические свойства. В породах со средней плотностью от 2,15 до 2,35 г/см^3 залегают пласты бурых, длиннопламенных и газовых углей; в породах со средней плотностью от 2,35 до 2,60 г/см^3 – жирные, коксовые и спекающиеся угли; в породах с плотностью от 2,60 до 2,75 г/см^3 – тощие и антрациты. Здесь наблюдается что с глубиной увеличиваются показатели физико-механических свойств, чем плотнее порода, тем выше прочностные свойства. По лабораторным исследованиям установлено что бурые и жирные угли встречаются в породах со скоростью упругих волн от 2600 до 3500 м/с, тощие угли и антрациты – в породах со скоростью распространения упругих волн от 4000 до 5000 м/с.

Поэтому определение физико-механических свойств углевмещающих пород с учетом стадии метаморфизма углей по показателю отражательной способности витринита имеет большое практическое значение при геологоразведочных и горнотехнических работах.

Выводы по главе 4

1 Первичными факторами, определяющими состав и свойства горных пород, служит состав петрофонда, который является продуктом различного вида выветривания материнских пород окружающих участков суши седиментационного бассейна, т.е. питающих провинций.

Петрофонд указывает на местоположение и характер источников питающих провинций, пути транспортировки материала, с помощью которых материал переносится из источника в седиментационный бассейн, и факторов, которые влияют на состав осадочных пород.

Терригенные компоненты в угленосной толще Карагандинского бассейна формируются за счет разрушения материнских магматических, метаморфических и более древних осадочных пород участков суши, окружающих седиментационный бассейн в три стадии: 1) при разрушении и отложении вышеназванных пород; 2) при переотложении кор химического выветривания развитых по этим породам; 3) при повторном перемыве и переотложении древних осадочных пород.

Питающими провинциями являются 1) вулканогенно-осадочные породы нижнего и среднего девона Спасского антиклинория, о чем свидетельствуют аутигенные минералы группы анатаз-брукита в песчаниках ащылыайрыкской и карагандинской свит; 2) андезито-базальтовые порфириты ордовика, прорванные диабазовыми порфиритами и кварцевыми диоритами в районе гор Байдаулет, об этом свидетельствует галька в составе песчаников во время водотоков из северных участков каледонской консолидации; 3) кварциты неопротерозоя и вулканогенно-осадочные породы ордовика в районе Тектурмасского антиклинория, об этом свидетельствует увеличение размеров обломков песчаников и слабая окатанность зерен песчаников; 4) кварциты неопротерозоя и на примыкающих к бассейну северо-западных и западных районах – вулканогенно-осадочные породы, прорванные среднедевонскими малыми интрузиями гранодиоритов, лейкократовых гранитов и жильными

гранит-порфирами, сиенит-порфирами в районе гор Сункар, об этом свидетельствует хорошая окатанность вышеназванных пород в конгломератах шаханской и тентекской свит связанные с дальними районами поступления терригенных материалов. Грауваккoвый и кварц-полевошпатовый состав угленосной толщи указывает на поступление терригенного материала из питающих провинций за счет тектонических оживлений и сноса терригенных материалов.

2 В результате литолого-фациального анализа установлено, что основным критерием является изменение мощности угленосных отложений в пространстве относительно источников сноса. Мощности всех свит увеличиваются в южном направлении, то есть по приближению к источнику сноса. В этом направлении увеличиваются мощности песчаных пород, уменьшаются мощности пелитовых пород.

Прибрежно-морские образования подразделены на следующие типы фации: лагун, прибрежного мелководья, пляжей и отмелей, баров или пересыпей, которые формируют аккудукскую, ащылыайрыкскую и низов карагандинской свит, которые характеризуются серыми, темно-серыми аргиллитами, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками с незначительной фауной или полностью лишенной. Континентальные образования (озерные, болотные, речные, дельтовые фации и фации сухих равнин) характеризуются серыми, темно-серыми типичными породами с горизонтальной, реже косой слоистостью и обилием растительного материала и наличием углей. Угли и углистые аргиллиты характерны для ащылыайрыкской, карагандинской, долинской, тентекской свит. В континентальных образованиях преобладает наличие фауны по сравнению с прибрежно-морскими образованиями.

3 В зависимости от стадии постседиментационного преобразования терригенные породы, обладающие почти одинаковым вещественным составом и структурой, могут характеризоваться резко отличающимися физико-механическими свойствами.

Ранний (начальный) этап катагенеза характеризуется следующими значениями физико-механические свойств горных пород: пористость 20-25 %, плотность 1,8-2,0 г/см^3, предел прочности при одноосном сжатии не более 5-15 МПа и растяжении до 1-2 МПа. С увеличением глубины залегания породы приобретают свойства соответственно пористость 15-20%, плотность 2,0-2,4 г/см^3, а пределы прочности на сжатие дифференцируется по литологическим типам: для аргиллитов 10-15 МПа, для алевролитов 15-25 МПа и для песчаников до 30-50 МПа.

Средний этап катагенеза характеризуется физико-механическими свойствами: пористость 8-15 %, плотность 2,4-2,6 г/см^3, дифференцированными значениями прочностных свойств (пределы прочности на сжатие: аргиллиты 10-25 МПа, алевролиты 20-40 МПа, песчаники 50-100 Мпа; пределы прочности на растяжение аргиллиты 1-3 МПа, алевролиты 2-5 Мпа, песчаники 3-8 МПа).

Поздний этап катагенеза характеризуется значениями: пористости 15-5 %, плотности 2,50-2,65 г/см^3, пределами прочности на сжатие и растяжение

соответсвенно для аргиллитов 20-40 МПа и 2-4 МПа, алевролитов 30-60 МПа и 3-6 МПа, песчаников 80-160 МПа и 5-10 МПа.

4 Установлено, что повышение степени метаморфизма углей обусловлено уменьшением содержания летучих компонентов и влаги, увеличением содержания углерода, повышением плотности органической массы, что приводит к повышению их прочности и крепости. В соответствии с вышесказанным определяются технологические марки углей, отражающие степень их метаморфизма.

Результаты исследования отражательной способности витринита 1,48 указывают, что каменные угли Карагандинского бассейна по стадии метаморфизма соответствует коксовым. При этом импульс метаморфизма 29,5 % согласно математической модели метаморфизма углей профессора М.А. Ермекова и средняя температура составляет 137°С. При такой температуре образуются коксовые угли, породы, слагающих кровлю, претерпевают постдиагенетические изменения. После вторичных изменений минерального состава глины переходят в более плотные аргиллиты. В алевролитах и песчаниках кварц принимает мелкую неправильную форму, плагиаклазы замещаются гидрослюдой, калиевые полевые шпаты каолинитом.

5 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Второе защищаемое положение. Создана геолого-геофизическая модель физико-механических свойств и устойчивости углевмещающих пород по данным геофизических методов исследований буровых скважин (каротажа). Связь физико-механических свойств пород кровли угольных пластов с геофизическими параметрами описывается многомерными корреляционными уравнениями, которые учитывают генетические и эпигенетические факторы формирования угольного массива.

Шахтные поля Карагандинского бассейна отличаются сложностью горно-геологических условий, изменчивостью технологических характеристик углей и физико-механических свойств углевмещающих пород, как по площади бассейна, так и с глубиной залегания угольных пластов. В связи с этим повышаются требования к изучению состава и физико-механических свойств углевмещающих пород. Из сказанного приобретает актуальность проблема разработки научных основ создания методов прогноза строения, состава и физико-механических свойств массива горных пород с применением системно-факторного анализа формирования и преобразования угольных формаций. Это позволит поднять на качественно новый уровень оценку физико-механических свойств и прогноз устойчивости пород кровли в горных выработках. Решение этих геологических задач возможно с помощью геофизических методов. Кроме того, геофизические методы подземных горных работ используются для обеспечения безопасной добычи угля. Таким образом, методы обработки и интерпретации геофизических данных могут быть использованы для мониторинга, которые отличаются от методов разведки. Кроме того, необходимо приложить усилия для расширения применения геофизических методов для наблюдения за аварийными ситуациями в подземных выработках [45, с. 11; 78]. Для этого проанализирован комплекс геофизических методов, а именно методы естественного гамма-излучения (гамма-метод), рассеянного гамма-излучения (гамма-гамма метод) и метод кажущегося сопротивления. Из всех методов наиболее подходящим для определения физико-механических свойств пород выбран метод кажущегося сопротивления и кавернометрии. Для достижения цели нами были использованы такие параметры, как $\rho_к$ – кажущееся удельное электрическое сопротивление пород, d – средний диаметр скважины, измеренный на основе данных кавернометрии и отражающих физическое состояние массива горных пород для характеристики физико-механических свойств и устойчивости пород кровли угольных пластов. В результате выведены многомерные математические уравнения для типичных пород бассейна – аргиллитов, алевролитов и песчаников, показывающие зависимости между их физико-механическими свойствами и геофизическими параметрами.

Исследование физико-механических свойств пород кровли угольных пластов являются основой для проектирования, строительства и эксплуатации

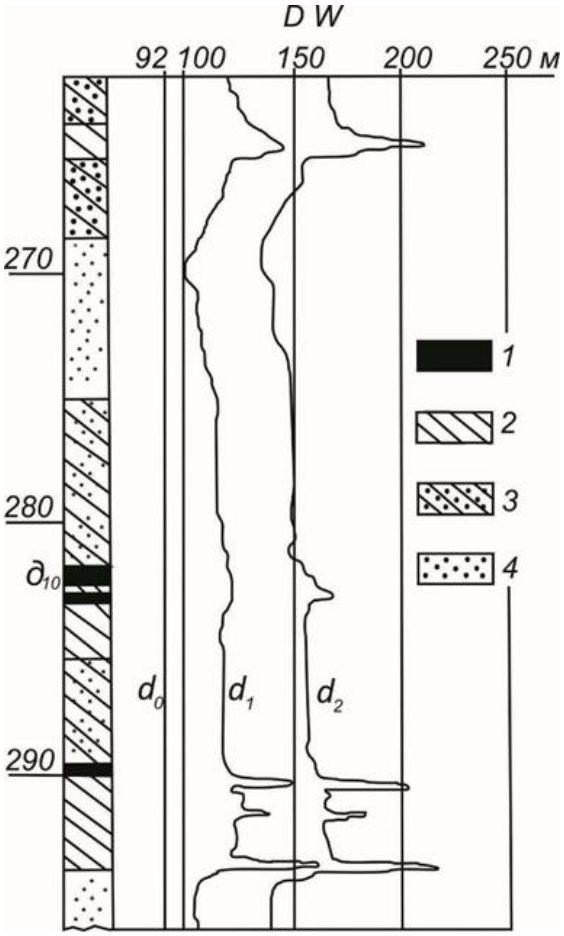
горнодобывающих предприятий, правильного выбора оптимальных параметров горнотехнических процессов, заложения новых горизонтов, нормирования горных работ, для расчета горного давления, прогноза устойчивости горных выработок и способа управления кровлей угольных пластов, подготовленных к отработке, так как они отражают количественные характеристики состояния горных пород [79-82]. Задачи, связанные с определением физико-механических свойств, способствуют решению задач по прогнозу устойчивости кровли, а также извлечению попутного метана [27, с. 1]. А также информацию о подземных геологических объектах, зонах дробления, образованные стратиграфическим напряжением, разломах, движениях конструкций, об обрушении и горных ударах в горных выработках при применении систем с обрушением в целях управления, которые имеют большое значение при инженерно-геологических исследованиях могут нести волны, определенные сейсмическим методом [10, с. 1998; 83].

Кавернометрия широко применяется для изучения разреза разведочных скважин в комплексе с другими геофизическими методами. Однако практическое использование его результатов для изучения физико-механических свойств пока весьма ограничено. Метод основан на изучении разреза скважины по характеру изменения диаметра скважины при бурении.

Увеличение фактического диаметра скважины в процессе ее бурения против номинального происходит по всей глубине скважины, особенно в породах менее прочных и менее водостойких (рисунок 5.1). Наибольшей кавернозностью обладают аргиллиты, наименьшей – песчаники, а алевролиты занимают промежуточное положение. Угольные пласты обнаруживают весьма разнообразную кавернозность: от высокой кавернозности, равной таковой в аргиллитах до незначительной, как в песчаниках. Иногда в угольных пластах и пропластках происходит сужение диаметра скважины и образование “сальников”. Нередко даже в пределах одного мощного пласта (например, пласт $д_6$) наблюдается и высокая кавернозность и образование “сальников”. Это явление, по-видимому, объясняется изменением вязкости бурового раствора, различной зольностью и механической прочностью отдельных пачек пласта сложного строения и, как следствие, селективным проявлением адсорбционной способности отдельных пачек или пропластков угля [51, с. 152-153].

По данным кавернометрии выявлена связь между кавернозностью скважин и литологическим составом пересекаемых пород, возрастом стенок скважин и глубиной вскрываемого интервала. Изучены кавернограммы, записанные через 6 и 15 суток после проходки данного интервала скважины, d_1 и d_2 средние диаметры скважин, отражающие состояние стенок скважин соответственно (рисунок 5.1). По приведенным кавернограммам выявлено, что течением времени обнажения стенок скважины увеличивается диаметр скважины и кавернозность. Кавернозность развивается по типичным породам угольного бассейна по-разному. Существенное увеличение кавернозности наблюдается в аргиллитах, наибольшая – в песчаниках. Алевролиты занимают промежуточную кавернозность между аргиллитами и песчаниками. Для песчаников и

алевролитов характерно общее увеличение кавернозности. В целом развитие первоначальных каверн наблюдается в тех интервалах где они зародились изначальна.



1 – уголь; 2 – аргиллиты; 3 – алевролиты; 4 – песчаники

Рисунок 5.1 – Увеличение диаметра скважины и кавернозности при бурении

В Карагандинском каменноугольном бассейне по результатам изучения кавернограмм, пройденных по типичным породам угленосного бассейна долинской и тентекской свит определена зависимость изменения диаметра скважины от времени стояния стенок скважины, литологического типа пород и глубины бурения.

Кавернометрия проводилось по мере перебурки каждых 300-400 м, по которому имеется два отрезка кривых кавернометрии, снятых через промежуток времени, равный времени бурения 300-400 метрового интервала. Данные по этим кавернограммам не раскрывают полную картину для изучения инженерно-геологических условий бассейна, поэтому проведена кавернометрия от забоя на всю глубину вскрываемой скважиной.

С этих кавернограмм графически определены фактические средние диаметры (d, мм) скважины, глубины середины характеризуемой пачки пород

(H, м) и возраст стенок скважины от момента перебурки до момента снятия кавернограммы (t, суток).

Из множества показателей, характеризующих физико-механические свойства горных пород, прочностные характеристики являются определяющими в проектировании и планировании технологических процессов добычи твердых полезных ископаемых [84].

Данные d = f(H, t) группировались и находились уравнения двухфакторных корреляций по типичным породам: аргиллитам, алевролитам и песчаникам: $d_t = f(t)$ и $d_H = f(H)$.

Конечные двухфакторные уравнения не выдержали испытания на краевые условия при критериальном выборе типа уравнений парных корреляций:

при $t = 0$ $d = d_0$,

при $H = \infty$ $d = d_0$,

где d_0 – диаметр бурения (номинальный).

Для устранения этой ситуации в дальнейшем задавались новой формой уравнения: d'_t=1+f(t) и d'_H=1+f(H). Где d' – отношение фактического диаметра скважины d к ее номинальному диаметру d_0.

Найденные в такой форме уравнения для конкретных литотипов имеют вид:

для аргиллитов $$d'_t = 1+1{,}54\,\frac{t}{t+7{,}69}, \quad R = 0{,}83; \tag{5.1}$$

$$d'_H = 1+3{,}07\,H^{-0{,}178}, \quad R = 0{,}65; \tag{5.2}$$

для алевролитов $$d'_t = 1+0{,}83\,\frac{t}{t+7{,}92}, \quad R = 0{,}65; \tag{5.3}$$

$$d'_H = 1+5{,}64\,H^{-0{,}398}, \quad R = 0{,}67; \tag{5.4}$$

для песчаников $$d'_t = 1+0{,}63\,\frac{t}{t+8{,}33}, \quad R = 0{,}74; \tag{5.5}$$

$$d'_H = 1+4{,}48\,H^{-0{,}379}, \quad R = 0{,}62, \tag{5.6}$$

где R – корреляционное отношение.

Учет вышеназванных факторов: литологический состав углевмещающих пород, время стояния обнаженных стенок скважины и глубина залегания пересекаемых пород имеет огромное значение на изменение диаметра скважины и повышает достоверность расчета, которая проверена методом М.М. Протодьяконова и Р.И. Тедера (1970). Трехфакторная корреляция методом М.М. Протодьяконова и Р.И. Тедера заключается в том, что общая функция равна частному от деления произведения частных функций на общую среднюю в степени, на единицу меньшей, чем число функции:

$$d' = \frac{d'_1 d'_2 \ldots d'_n}{d'^{n-1}} \quad (5.7)$$

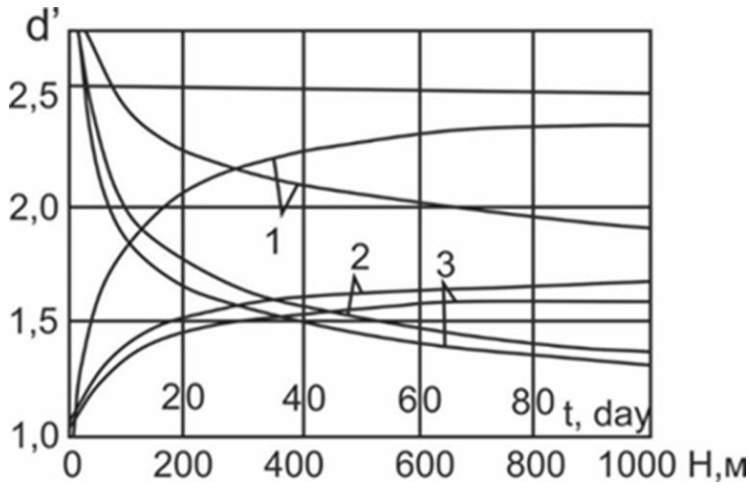
В результате получены следующие зависимости:

для аргиллитов $d'_a = 1+4{,}11\,\dfrac{t\,H^{-0{,}178}}{t+7{,}69}$, R = 0,86; (5.8)

для алевролитов $d'_{ал} = 1+8{,}39\,\dfrac{t\,H^{-0{,}398}}{t+7{,}92}$, R = 0,75; (5.9)

для песчаников $d'_П = 1+6{,}73\,\dfrac{t\,H^{-0{,}379}}{t+8{,}33}$, R = 0,79 (5.10)

Выведенные уравнения выдержали испытания на краевые условия. По анализу этих уравнений установлено (рисунок 5.2), что градиент увеличения диаметра скважины во времени и с глубиной снижается. Это приводит к некоторой универсальности выведенных уравнений, так как они уже не связаны с диаметром бурения.



1 – аргиллиты; 2 – алевролиты; 3 – песчаники

Рисунок 5.2 – Изменение диаметра скважин в процессе бурения при *t*=20 сут и *H*=500 м

По вышеприведенной диаграмме видно, что песчаники и алевролиты имеют довольно близкие результаты. Различия этих эмпирических зависимостей оценены посредством критерия Стьюдента и подтвердила возможность расчета d' по одной общей для песчаников и алевролитов формуле.

Формулы парной корреляции $d'_t = f(t)$ и $d'_H = f(H)$ сравнивались посредством критерия Стьюдента ($\hat{t}$) для песчаников-алевролитов и

алевролитов-аргиллитов. Определен критерий Стьюдента, который применяется для анализа гипотезы о среднем по Шарапову И.П. [86-88]:

$$\hat{t} = \frac{|F_1 - F_2|}{\sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \qquad (5.11)$$

и число степеней свободы К= $n_1 + n_2$ -2. (5.12)

Числитель формулы (5.11) представлена как средняя интегральная превышения сравниваемых кривых:

$$\Delta_t = \frac{F_1 - F_2}{t} \quad \text{и} \quad \Delta_H = \frac{F_1^{/} - F_2^{/}}{H}, \qquad (5.13)$$

где F_1 и $F_1^{/}$ – соответственно площади, заключенные между ординатами начала и конца кривых, абсциссой и самими кривыми более высокого уровня;

F_2 и $F_2^{/}$ – то же для кривых более низкого уровня.

Площади эти рассчитываются по интегрированным формулам 5.1-5.6. Пределы: в функции возраста стенок скважин (t) от 0 до 100 суток; в функции глубины залегания пересекаемых горных пород (Н) от 0 до 1200 м.

Площади функции времени определяется следующим образом:

$$\mathrm{F} = \int_0^t dt + a_1 \int_0^t \frac{t}{t + b_1} dt = t + a_1 \left[t - b_1 \ln(t + b_1)\right]\Big|_0^t . \qquad (5.14)$$

Подставляя в формулу (5.14) предельное значение t = 100, окончательно получаем:

$$\mathrm{F} = 100 + a_1\left[100 - b_1 \ln(100 + b_1)\right] + a_1 b_1 \ln b_1 . \qquad (5.15)$$

Площади функции глубины залегания рассчитываются:

$$\mathrm{F}^{/} = \int_0^H dH + a_2 \int_0^H H^{-b_2}\, dH = \mathrm{H} + \frac{a_2 H^{1-b_2}}{1 - b_2} . \qquad (5.16)$$

Подставляем в формулу (5.16) предельное значение Н=1200 м, окончательно получаем:

$$\mathrm{F}^{/} = 1200 + \frac{a_2\, 1200^{1-b_2}}{1 - b_2} \qquad (5.17)$$

Способ интегрирования при расчете площадей в функциях времени и глубины значительно упрощает и повышает достоверность определения. Результаты значений площадей, рассчитанные по формулам (5.15), (5.17) и (5.13) сведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Расчет статистических параметров

Параметры	Время t, сут				Глубина Н, м			
Характерис-тики породы	n	S^2	F	Δ_t	n	S^2	F	Δ_H
Песчаники	10	0,044	49,61	0,165	5	0,099	543,6	0,056
Алевролиты	10	0,075	66,07	0,465	7	0,094	599,4	0,492
Аргиллиты	10	0,235	112,6		7	0,056	1091	

Таблица 5.2 – Расчет статистических параметров

Параметры	Время t, сутки			Глубина Н, м		
Углевмещающие породы	$\hat{t}$	К	$\hat{t}_{KP}$ -допустимое при Р=0,05	$\hat{t}$	К	$\hat{t}_{KP}$ -допустимое при Р=0,05
Песчаники-алевролиты	1,43	18	2,10	0,28	10	2,23
Аргиллиты-алевролиты	2,50	18	2,10	3,12	12	2,18

По расчетам критерия Стьюдента для песчаников и алевролитов $\hat{t}_{KP} > \hat{t}$ не превышает допустимое значение, поэтому обе формулы можно рассматривать как равноценные, а расчеты достаточно проводить по одной из них или общей для них одной формуле.

Для аргиллитов и алевролитов $\hat{t}_{KP} < \hat{t}$ превышает допустимое расчеты следует проводить для каждой породы отдельно, то есть для аргиллитов расчеты проводятся по отдельной формуле. Для аргиллитов и песчаников в еще большей мере существуют отличия.

На основе оценки посредством критерия Стьюдента для расчетов изменения диаметра скважины окончательно выбраны следующие многомерные уравнения для:

аргиллитов $$d^{/} = 1 + 4{,}11\ \frac{t\,H^{-0{,}18}}{t + 7{,}69}, \qquad (5.18)$$

алевролитов и песчаников $$d^{/} = 1 + 7{,}56\ \frac{t\,H^{-0{,}39}}{t + 8{,}13}.$$ (5.19)

Каверны могут быть распространены как в части пласта, так и на всю их мощность и иметь различную глубину. Наименьшая кавернозность скважин на месторождениях различного марочного состава (Б-Д, Д, Г, Ж, К, ОС и Т) наблюдается в песчаниках, при этом большинство каверн имеет локальный характер, т.е. распространены только в части пласта. В алевролитах по сравнению с песчаниками кавернозность увеличивается, и одновременно относительно увеличивается число сплошных каверн. Еще больше увеличивается кавернозность в аргиллитах. При этом на месторождениях с высокой степенью метаморфизма углей (Т, ОС) преобладает сплошная кавернозность, а с более низкой степенью метаморфизма (марки К, Ж, Г, Д, Б-Д), наоборот, локальная кавернозность.

Кавернозность среди вмещающих пород, расположенных над кровлей рабочих угольных пластов характеризует устойчивость кровли в шахтных выработках при добыче угля. Эти породы чаще всего представлены аргиллитами и углистыми и углисто-глинистыми аргиллитами, реже песчаниками. Среди вмещающих пород кавернозность над кровлей пласта на месторождениях высокой степени метаморфизма и сложного тектонического строения наибольшая, на месторождениях с низкой степенью углефикации она занимает промежуточное положение между аргиллитами и алевролитами.

Самая высокая кавернозность на всех угольных участках наблюдается в угольных пластах. По мере увеличения степени углефикации кавернозность возрастает и достигает в отощенно-спекающихся и тощих углях, притом с преобладанием сплошной кавернозности над локальной. Более низкая кавернозность скважин в коксовых углях по сравнению с кавернозностью в углях марок Т, ОС и Ж. С увеличением глубины, а, следовательно, увеличением времени ее бурения кавернозность увеличивается в верхней части скважины [46, с. 331].

Таким образом, отмечается четкая связь между изменением диаметра скважины и литологией пород. Следовательно, кавернограммой можно пользоваться как вспомогательным материалом для литологического расчленения разреза скважины. Кроме того, кавернограмма дает возможность получить сведения о механической крепости пород, что имеет большое значение для проектирования строительства шахт. Особенно необходимы данные об устойчивости пород, залегающих над кровлей пласта. Поэтому кавернометрия должна включаться в обязательный комплекс геофизических методов исследования угольных скважин [46, с. 335].

На этом основании следует рассматривать кавернометрию не только как вспомогательный, но и как самостоятельный метод изучения геологических разрезов скважин по характеру изменения диаметра скважины в процессе бурения.

Практическое опредление физико-механических свойств пород с помощью кавернометрии следует производить как в комплексе с другими геофизическими методами, так и параллельно с ними в порядке контроля [47, с. 309].

Метод бокового электрического зондирования состоит в измерении кажущегося сопротивления ($\rho_К$) пластов по разрезу скважин набором однотипных зондов разной длины. Зонды разного размера, имея неодинаковый радиус исследования в вертикальном и радиальном направлениях, фиксируют величину кажущегося сопротивления, обусловленную объемами проводящих сред. Главная цель бокового электрического зондирования (БЭЗ) или боковое каротажное зондирование (БКЗ) заключается в определении истинного удельного сопротивления ($\rho_П$) пластов. При малых размерах зонда по сравнению с диаметром скважины ($L \ll d_c$) измеряемое кажущееся сопротивление приближается к величине истинного удельного сопротивления промывочной жидкости ($\rho_К \rightarrow \rho_р$), при увеличении размера зонда на показания $\rho_К$ все больше влияют сопротивления зоны проникновения и пласта, а значительном превышении размера зонда над диаметром скважины ($L \gg d_c$) и глубиной проникновения фильтрата промывочной жидкости ($L > D_{ЗП}$) величина $\rho_К$ приближается к истинному значению удельного сопротивления пласта, то есть $\rho_К \rightarrow \rho_П$ [89].

Величины $\rho_К$ определены графическим способом с диаграмм КС. Сопоставление величин $\rho_П$ и $\rho_К$ показывают закономерную связь, которая подчиняется линейному закону:

$$\rho_П = a\,\rho_К + b \qquad (5.20)$$

Значения эмпирических коэффициентов (a, b) уравнения (5.20) по расчету истинного удельного электрического сопротивления ($\rho_П$) приведены в таблице 5.3.

На каждом разведочном участке Карагандинского бассейна выполнен боковой токовый каротаж с набором зондов длиной от 0,3 до 4,0 м. По материалам БКЗ определены истинное удельное электрическое сопротивление, которые сопоставлены с диаграммами КС. В ходе опытно-методических работ сравнивались кривые с истинными значениями удельного электрического сопротивления, определенные методом БКЗ. Кривые стандартного градиент-зонда A1,2M0,1N почти полностью совпали с истинным удельным электрическим сопротивлением. Малый градиент-зонд A0,3M0,03N дает большой разброс и малую тесноту связи, из-за значительного влияния скважинных условий на результаты записи, малого размера зонда и небольшой глубинности исследования.

Таблица 5.3 – Значения эмпирических коэффициентов уравнения (5.20)

Горная порода	Градиент-зонд	Значения коэффициентов		Коэффициент корреляции r	Среднее квадратическое отклонение σ, %
		a	b		
Аргиллит	Стандартный	0,79	1,0	0,90	10,1
	Малый	1,02	1,6	0,80	21,4
	Малый	1,10	-	0,80	21,4
Алевролит	Стандартный	0,59	7,7	0,83	11,5
	Малый	1,00	2,6	0,46	26,2
	Малый	1,10	-	0,46	26,2
Песчаник	Стандартный	0,56	10,7	0,84	14,1
	Малый	0,90	8,6	0,60	28,7
	Малый	1,13	-	0,60	28,7

Процесс определения $\rho_П$ является довольно трудоемким, а при отсутствии данных резистивиметрии и кавернометрии даже невозможным, поэтому использование полученных выражений и коэффициентов (таблица 5.4) упрощает определение истинного удельного электрического сопротивления. Величины $\rho_К$ определенными из диаграмм КС стандартного градиент-зонда A1,2M0,1N можно использовать непосредственно для определения физико-механических свойств пород, так как между величинами $\rho_П$ и $\rho_К$ найдено условие сопоставимости с высоким значением коэффициента корреляции, подчиняется линейному закону.

Так как в углеразведке в большинстве случаев влияние скважины невелико (малые диаметры скважин и пресные буровые растворы), то кажущиеся сопротивления вмещающих пород при существующих стандартных зондах обычно близки к значениям их истинных удельных сопротивлений [46, с. 154].

Поэтому диаграммы кажущихся сопротивлений можно непосредственно использовать (без перехода к истинным удельным сопротивлениям) для литологического расчленения разреза скважины. Наряду с наличием дифференциации в сопротивлениях различных пород крайние их значения обычно перекрываются. Это объясняется тем что между основными литологическими разностями пород имеются переходные породы – алевролитовый песчаник, песчаник мелкозернистый, алевролит крупнозернистый, углистые породы и т.п., характеризующиеся промежуточными значениями кажущегося сопротивления. Поэтому для того, чтобы произвести литологическое расчленение всех пород, недостаточно использовать только значения кажущихся сопротивлений, необходимо еще учитывать конфигурацию кривых $\rho_К$ и, главное, данные кавернометрии.

Песчаники характеризуются не только высокими сопротивлениями, но и наиболее изрезанной формой кривой $\rho_К$. Даже песчаники по величине сопротивления приближающиеся к алевролитам, отличаются от последних большей иззубренностью кривой $\rho_К$. Пласты алевролитов характеризуются не только более низкими сопротивлениями по сравнению с песчаниками, но и более спокойной кривой кажущегося сопротивления. Отдельные локализованные пики с повышенным $\rho_К$ против алевролитов обусловлены конкреционным прослоями.

Пласты аргиллитов имеют еще более низкие сопротивления и характеризуются еще более спокойной кривой $\rho_К$. Даже те пласты аргиллитов, которые по величине сопротивлений почти не отличаются от алевролитов, могут быть отделены от последних по характеру более сглаженной кривой $\rho_К$. Встречающиеся отдельные узкие пики повышенного сопротивления против аргиллитов относятся к конкреционным прослоям.

Таким образом, по диаграммам кажущихся сопротивлений имеется возможность проводить расчленение разрезов скважин более точно, чем по данным визуальных исследований керна [43, с. 154].

Связь геофизических параметров с физико-механическими свойствами реализована в виде математических выражений. Установлен характер зависимости между прочностными свойствами и изменением диаметра скважины (d), временем стояния обнаженных стенок скважины (t) и кажущимся сопротивлением ($\rho_К$).

Пределы прочности на сжатие и растяжение можно рассчитать по каждой литологической разновидности по следующим многомерным уравнениям [90]:

для аргиллитов

$$\sigma_c = 4.342 d^{-0.33} t^{0.44} \rho_К^{1,042} \qquad R = 0,94; \qquad (5.21)$$

$$\sigma_р = 109,75 d^{-1.29} t^{0.181} \rho_К^{0,603} \qquad R = 0,75; \qquad (5.22)$$

для алевролитов

$$\sigma_с = 5,658 d^{-0.253} t^{0.013} \rho_К^{0.871} \qquad R = 0,87; \qquad (5.23)$$

$$\sigma_р = 37,21 d^{-1.06} t^{0.13} \rho_К^{0.625} \qquad R = 0,70; \qquad (5.24)$$

для песчаников

$$\sigma_с = 148,33 d^{-0.703} t^{0.10} \rho_К^{0.871} \qquad R = 0,83; \qquad (5.25)$$

$$\sigma_р = 693,66 d^{-1.513} t^{0.20} \rho_К^{0.434} \qquad R = 0,72. \qquad (5.26)$$

Для упрощенного определения физико-механических свойств пород получены эмпирические формулы по методу КС и кавернометрии в отдельности. Связь механической прочности ($\sigma_с$) пород, слагающих разрез скважины с кавернозностью (d, мм), учитывая влияние на последнее времени стояния обнаженных стенок скважины от момента перебурки до проведения кавернометрии (t, сут) и глубины залегания (H, м), характеризуется соответственно для аргиллитов, алевролитов и песчаников уравнениями [90, с. 53]:

$$\sigma_{\text{с}}^{\text{арг}} = 0{,}4018 \cdot 10^{6} d^{-2.362} t^{0.346} H^{0.209} \qquad R = 0{,}80; \qquad (5.27)$$

$$\sigma_{\text{с}}^{\text{ал}} = 3118{,}0 d^{-1.374} t^{0.088} H^{0.357} \qquad R = 0{,}61; \qquad (5.28)$$

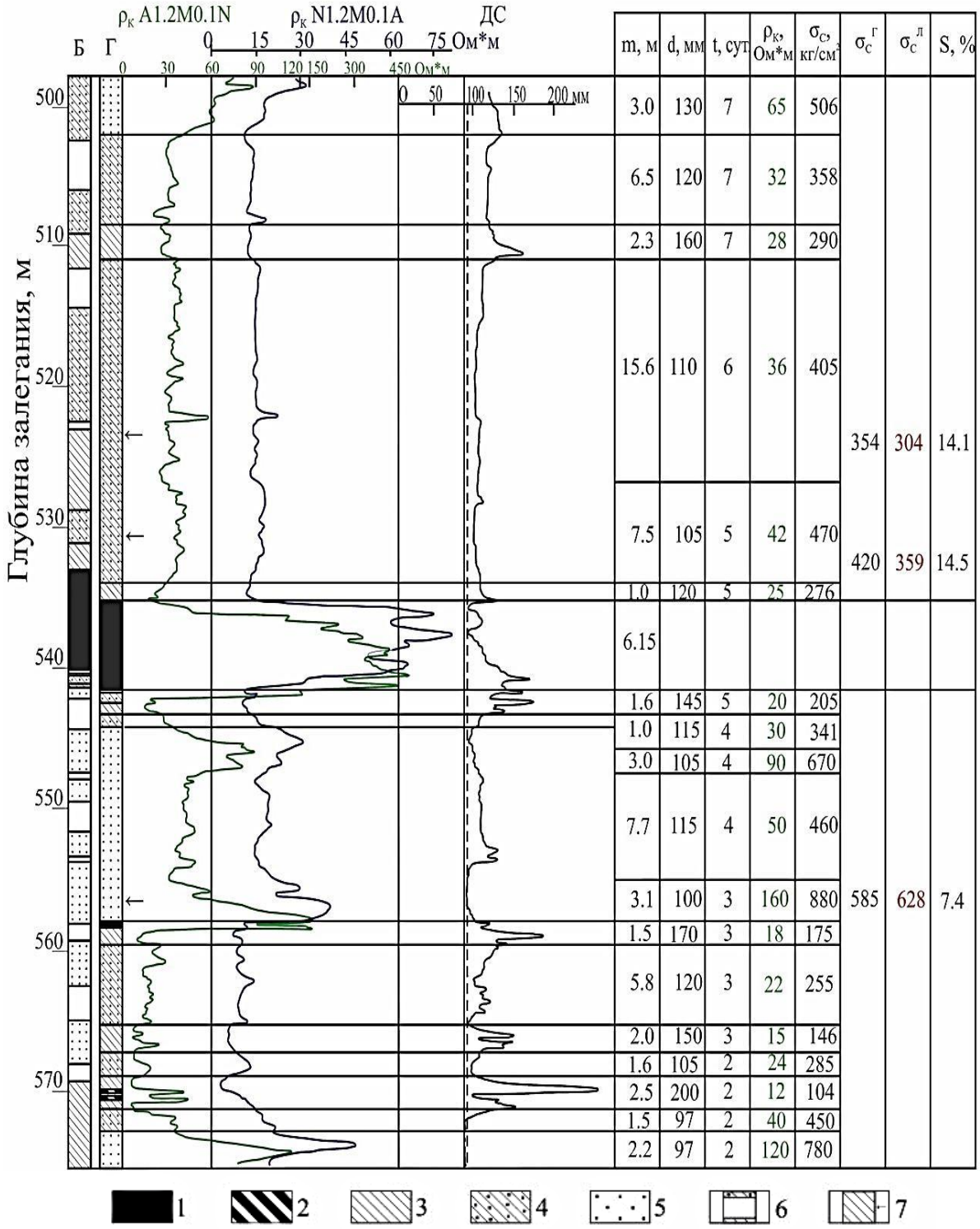
$$\sigma_{\text{с}}^{\text{п}} = 5058.7 d^{-1.196} t^{0.188} H^{0.148} \qquad R = 0{,}63. \qquad (5.29)$$

На диаграмме (рисунок 5.3) кажущихся сопротивлений, зарегистрированные градиент-зондом A1.2M0.1N и потенциал-зондом N1.2M0.1A определены прочности пород кровли и почвы пласта $д_6$ непрерывно по разрезу скважины.

В таблице 5.4 приведены формулы, описывающие характер зависимости между геофизическими параметрами и физико-механическими свойствами углевмещающих пород для Карагандинского каменноугольного бассейна.
Произведено сопоставление значений физико-механических свойств пород, полученных лабораторным способом и по предлагаемой геолого-геофизической модели. Достоверность и точность определений по созданной методике отвечает требованиям производственных исследований и расхождения в значениях физико-механических свойств пород двумя методами невелики. Среднеквадратические отклонения составляют по аргиллитам 15,7 %, алевролитам 12,5 %, песчаникам 12,5 %.

Геофизические методы определения физико-механических свойств горных пород, слагающих разрезы скважин, основаны на различии их физических свойств, которые являются объективной характеристикой и определяют литолого-минералогические особенности и совокупность геологических процессов, которым подверглись породы.

Аргиллиты имеют наименьшие значения кажущегося сопротивления (ρ_K), низкие значения прочности (σ_c и σ_p), объемного веса (q) и высокие значения пористости (П), естественной влажности (W). С увеличением обломков пород наблюдается увеличение величин кажущегося сопротивления. В алевролитах увеличиваются значения кажущегося сопротивления, прочностные свойства, объемный вес, уменьшаются пористость и влажность. Мелко- и среднезернистые песчаники характеризуются наибольшими значениями кажущегося сопротивления, пределами прочности на сжатие и растяжение, объемного веса, наименьшими значениями пористости и влажности. Таким образом, наблюдается четкая корреляционная связь между физико-механическими свойствами пород и их удельными электрическими сопротивлениями наблюдается четкая корреляционная связь. По многомерным уравнениям наблюдается прямая связь кажущегося сопротивления (ρ_K) с прочностными свойствами (σ_c, σ_p) и плотностью (q) пород и обратную – с пористостью (П) и влажностью (W) [91, 92].



1 – уголь; 2 – углистый аргиллит; 3 – аргиллит; 4 – алевролит; 5 – песчаник; 6 – интервалы невыхода керна; 7 – место отбора проб. Литологическая колонка по: Б – бурению; Г – геофизике

Рисунок 5.3 – Определение прочности углевмещающих пород Карагандинского бассейна геофизическими методами

Таблица 5.4 – Формулы и связи зависимости между геофизическими параметрами и физико-механическими свойствами пород

Горная порода	Уравнение	Корреляционные отношения
Аргиллит	$\sigma_c = 6{,}87\ \rho_к^{1{,}13}$	0,90
	$\sigma_p = 1{,}02\ \rho_к^{0{,}89}$	0,71
	$П = 38{,}61\ \rho_к^{-0{,}39}$	0,68
	$q = 2{,}27\ \rho_к^{0{,}03}$	0,77
	$W = 21{,}65\ \rho_к^{-0{,}53}$	0,53
Алевролит	$\sigma_c = 13{,}38\ \rho_к^{0{,}94}$	0,86
	$\sigma_p = 1{,}17\ \rho_к^{0{,}87}$	0,61
	$П = 38{,}46\ \rho_к^{-0{,}38}$	0,46
	$q = 2{,}17\ \rho_к^{0{,}04}$	0,57
	$W = 12{,}9\ \rho_к^{-0{,}41}$	0,43
Песчаник	$\sigma_c = 40{,}44\ \rho_к^{0{,}62}$	0,80
	$\sigma_p = 2{,}86\ \rho_к^{0{,}65}$	0,61
	$П = 48{,}86\ \rho_к^{-0{,}41}$	0,50
	$q = 2{,}31\ \rho_к^{0{,}02}$	0,61
	$W = 23{,}25\ \rho_к^{-0{,}55}$	0,56

Результаты массового изучения физико-механических свойств углевмещающих пород по всем шахтным полям различных геолого-промышленных участков бассейна, угленосным свитам и глубинам залегания обобщены в исследованиях. В результате обобщения и анализа исследований прежних лет, новых современных данных, полученных по созданной геолого-геофизичсекой модели по глубоким горизонтам (до 900-1200 м) усредненные значения физико-механических свойств углевмещающих пород бассейна приведены в таблице 5.5. На основе этих данных были составлены исходные данные для карты прочности пород кровли угольного пласта $д_6$ (рисунки 5.4, 5.5).

Таблица 5.5 – Физико-механические свойства горных пород Карагандинского каменноугольного бассейна

Структурный блок	Литологические типы	Глубина, м	ρ, г/см^3	П, %	W, %	σ_c, МПа	σ_p, МПа	Размягчаемость		
								Трудная	Средняя	Легкая
Ащылыайрыкская и карагандинская свиты										
Северное крыло Карагандинской и восточное крыло Шерубайнуринской синклинали	песчаники мелко-, среднезернистые	До 50	2,49	14	5	33	2,7	64	15	21
		50-100	2,51	11	3	48	3,7	71	19	10
		100-300	2,55	9	3	63	5,0	94	4	2
		300-600	2,58	8	2	78	6,0	96	4	-
		Более 600	2,60	7	2	85	6,3	100	-	-
	алевролиты	До 50	2,35	20	6	23	1,5	30	27	43
		50-100	2,47	13	4	32	1,8	33	27	40
		100-300	2,52	11	3	45	2,6	46	18	36
		300-600	2,55	10	3	50	3,4	54	26	20
		Более 600	2,58	9	3	52	4,0	60	30	10
	аргиллиты	До 50	2,25	19	7	15	1,0	13	5	82
		50-100	2,41	13	4	32	1,8	33	27	40
		100-300	2,52	11	3	45	2,6	46	18	36
		300-600	2,55	10	3	50	3,4	54	26	20
		Более 600	2,55	9	3	40	3,0	40	30	30
Долинская и тентекская свиты										
Северная половина Шерубайнуринской синклинали (Тентекский район)	песчаники мелко-, среднезернистые	До 50	2,31	17	6	21	1,9	47	20	33
		50-100	2,47	11	4	38	3,2	69	18	13
		100-300	2,51	9	3	58	4,3	85	8	7
		300-600	2,55	8	3	72	5,5	93	6	1
		Более 600	2,58	8	2	78	5,8	96	4	-
	алевролиты	До 50	2,25	20	8	15	0,9	23	17	60
		50-100	2,45	12	4	28	1,9	33	14	53
		100-300	2,5	10	4	42	2,5	46	14	40
		300-600	2,54	9	3	47	3,1	54	20	26
		Более 600	2,56	9	3	50	3,8	60	24	16
	аргиллиты	До 50	2,22	23	11	11	0,7	13	5	82
		50-100	2,40	17	6	17	1,5	18	12	70
		100-300	2,46	14	5	30	1,8	28	18	54
		300-600	2,52	11	4	36	2,3	33	22	45
		Более 600	2,55	10	3	38	2,6	40	30	30

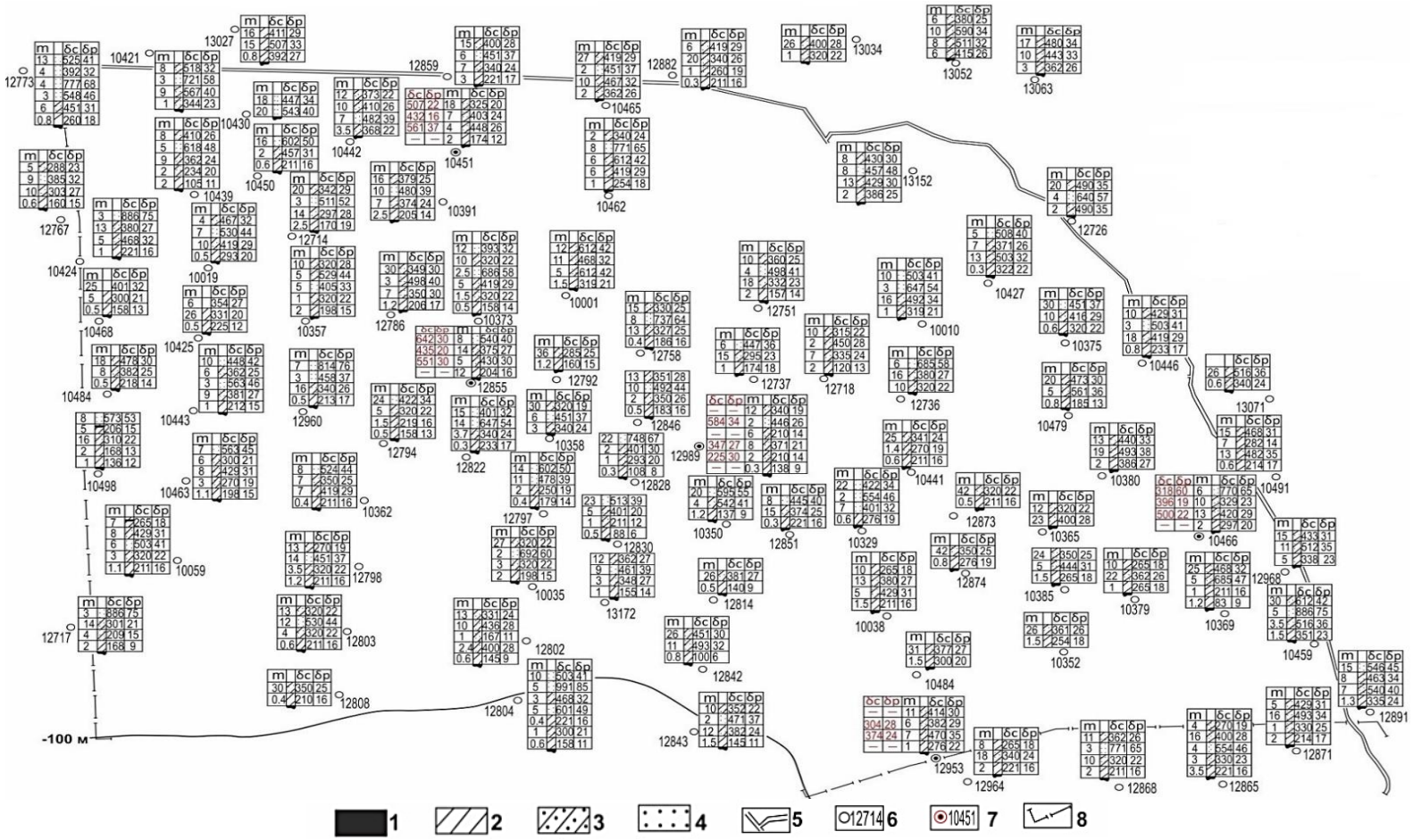
Как видно из карт прочности и таблицы 5.6, физико-механические свойства горных пород закономерно изменяются в зависимости от литолого-фациального типа, постседиментационного преобразования, глубины и стратиграфического уровня залегания. С увеличением глубины, повышением термодинамических

условий осадконакопления, увеличением обломков зерен в литологических разновидностях наблюдается увеличение прочностных свойств. Среди литологических разновидностей наибольшей прочностью обладают среднезернистые песчаники глубоких горизонтов, которые на глубинах более 600 м имеют пределы прочности на сжатие σ_c=80-140 МПа, пределы прочности на растяжение σ_p=5-10 МПа. Аргиллиты характеризуются наименьшей прочностью. Это связано с уменьшением размеров зерен обломков, содержания кластического материала, увеличением глинистого материала в цементе и ухудшением степени литификации.

В зонах развития выветривания угленосной толщи (до 100 м) наблюдаются породы с низкими значениями прочностных свойств, плотности, высокими значениями пористости и естественной влажности. С глубиной эти показатели изменяются, породы становятся более прочными, водоустойчивыми и менее пористыми. На глубинах более 600 м песчаники практически неразмягчаемы, алевролиты неразмягчаемы до 60 %, аргиллиты неразмягчаемы до 40 %. Изменчивость физико-механических свойств пород имеет геологическую природу и это дает возможность оценивать их по геолого-геофизическим данным.

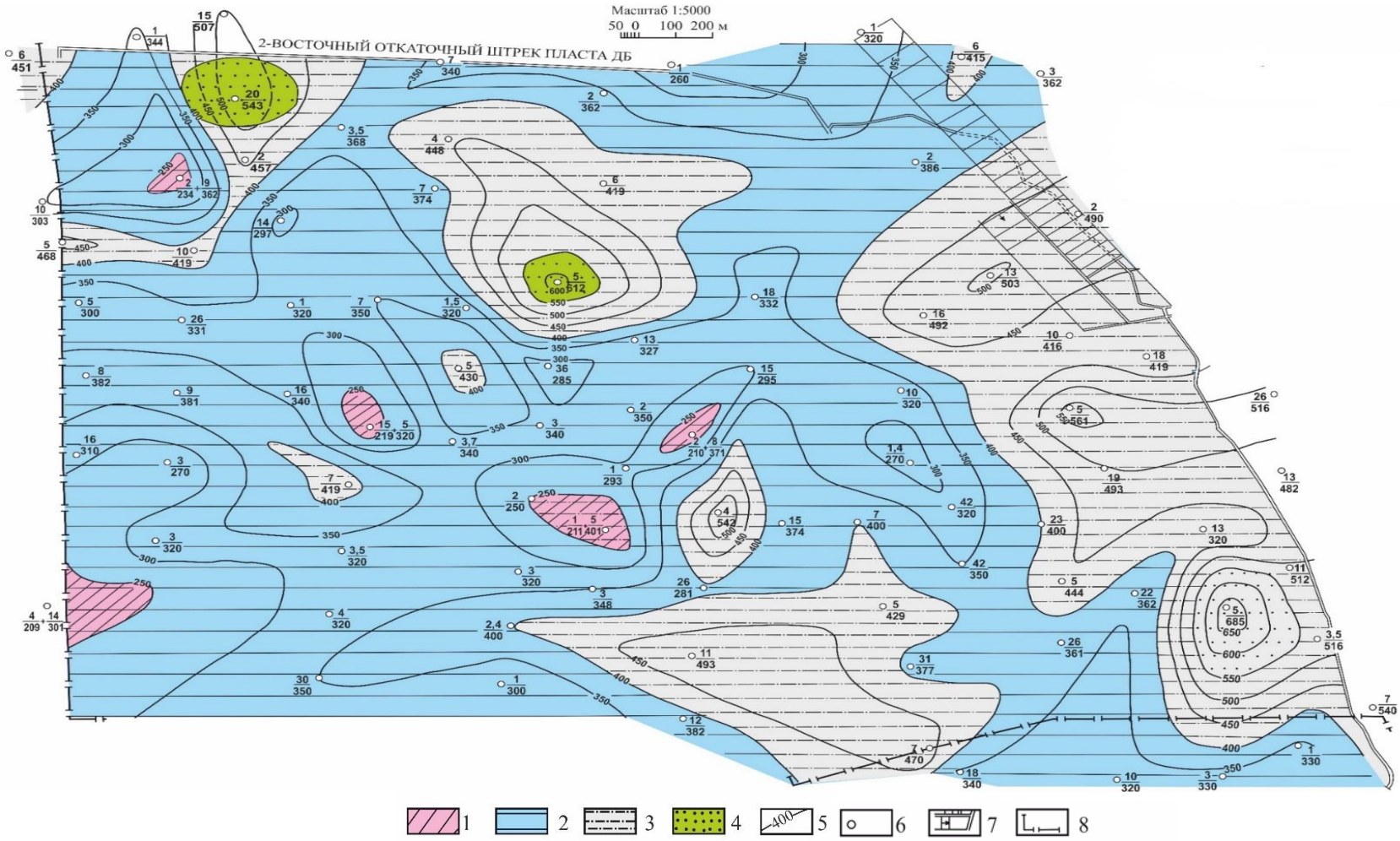
Физико-механические свойства горных пород обычно определяются по керновым пробам лабораторными методами. Главным требованием к геологическому опробованию угольных пластов и вмещающих пород является получение представительной пробы, все определяемые показатели которой должны быть адекватны показателям технологических характеристик углей в угольном пласте и физико-механических свойств горных пород в массиве. Однако обеспечить эти требования в процессе геологоразведочных работ оказывается не всегда выполнимым: неполный выход керна или его отсутствие, избирательная истираемость, засорение его продуктами разрушения горных пород, длительный период времени между отбором пробы и ее исследованием в лаборатории и т. д. Геофизическое опробование, основанное на изучении процессов взаимодействия геофизических полей с горными породами, удовлетворяет выше указанным требованиям.

Точность геофизической методики оценки физико-механических свойств горных пород вполне отвечает требованиям практики, кроме того, она позволяет проводить определения без отбора проб экономически выгодно, быстро, с наибольшей полнотой исследований (можно охватить все пробуренные на разведуемом поле скважины и по всему разрезу). В этом случае лабораторные методы исследования следует предусматривать в небольшом объеме в качестве контроля геофизической методики.



1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 –алевролит; 4 – песчаник; 5 – нижняя граница горных работ; 6 – скважина и ее номер; 7 – скважина, опробованная на физико-механические свойства; 8 – граница шахтного поля

Рисунок 5.4 – Исходные данные прочности пород кровли угольного пласта $д_6$. Пределы прочности пород сжатию (σ_c, кг/см^2) и растяжению (σ_p, кг/см^2), определенные геофизическими методами (в черном цвете), лабораторными испытаниями (в красном цвете), m – мощность пород, м



Классы кровли по устойчивости: 1 – малоустойчивая; 2 – среднеустойчивая; 3 – устойчивая; 4 – труднообрушаемая; 5 – изопрочности алевролитов, кг/см^2; 6 – разведочная скважина; цифры в числителе дроби – мощность алевролитов, м; в знаменателе – значение их прочности на сжатие, кг/см^2; 7 – горные выработки; 8 – граница шахтного поля

Рисунок 5.5 – Карта прочности алевролитов кровли угольного пласта $д_6$

Выводы по главе 5

Геофизические методы исследования скважин имеют огромное значение при решении геологических задач. Каротаж скважин проводится непосредственно и непрерывно по всему стволу скважин, в естественном залегании пород кровли угольных пластов, и главное, неразрушающим методом, поэтому представляют полноту геологической картины, так как не всегда возможен полный выход керна и своевременное, быстрое лабораторное исследование проб для определения физико-механических свойств. Из-за отсутствия разработанной методики для прогнозирования устойчивости кровли горных выработок в Карагандинском бассейне не применялись результаты геофизических исследований. После анализа и обработки кривых методов гамма каротажа, гамма-гамма каротажа и электрического кажущегося сопротивления для создания предлагаемой геолого-геофизической модели был выбран электрический метод кажущегося сопротивления, и метод кавернометрии.

1 Кавернометрия является обязательным методом для расчленения пород, определения прочностных свойств пород, что необходимо для прогнозирования устойчивости кровли шахтных выработок. Кроме того, наблюдается связь между изменением фактического диаметра скважины и литологией пород, метаморфизмом углей.

Кавернозность может наблюдаться на различной глубине как в части пласта, так и на всю их мощность. На месторождениях с различной степенью метаморфизма (Б, Д, Г, Ж, К, ОС и Т) наименьшей кавернозностью характеризуются песчаники, аргиллиты – наибольшей кавернозностью, алевролиты занимают промежуточное положение. Локальные каверны сменяются сплошными от песчаников к аргиллитам. Месторождениям низкой степенью (марки К, Ж, Г, Д, Б) метаморфизма характерны локальные каверны, высокой степени (Т, ОС) метаморфизма – сплошные каверны.

Изменение диаметра скважины зависит от литологии, возраста стенок скважины и глубины залегания пород изучаемой толщи. Учет вышеназванных факторов значительно повышает достоверность расчета кавернозности. Поэтому была выполнена трехфакторная корреляция. При выборе указанных параметров исходили из предположения, что, во-первых, процесс кавернообразования должен носить ярко выраженный временный характер (кавернозность растет во времени), во-вторых, с глубиной залегания прочность, а, следовательно, и устойчивость пород, растет.

В результате проведенной оценки получены многомерные уравнения для определения изменения диаметра скважины по одной общей для песчаников-алевролитов и аргиллитов.

2 На разведочных участках Карагандинского угольного бассейна проведен боковой токовый каротаж (БКЗ) с набором зондов длиной от 0,3 до 4,0 м и определено истинное сопротивление пород. Определённые значения истинного сопротивления сопоставлены с диаграммами вышеназванных зондов. Значения электрического кажущегося сопротивления диаграмм градиент-зонда и потенциал-зонда длиной 1,20 м почти полностью совпадают с электрическим

истинным сопротивлением метода БКЗ. Для предлагаемой методики использованы непосредственно диаграммы стандартного градиент-зонда A1, 2M0, 1N.

В результате интерпретации кривых КС выявлено, что песчаники характеризуются высокими значениями электрического кажущегося сопротивления, алевролиты имеют промежуточные значения кажущегося сопротивления между песчаниками и аргиллитами. Кривые, соответствующие песчаникам имеют изрезанную форму, алевролиты имеют более спокойные кривые, пики в этих кривых обусловлены наличием прослоев кокреции и пустот. Аргиллиты имеют не только низкие значения кажущегося сопротивления, но и еще более спокойные кривые по сравнению с алевролитами.

Многомерные уравнения по методу КС и кавернометрии для оценки физико-механических свойств типичных пород Карагандинского каменноугольного бассейна – аргиллитов, алевролитов, песчаников учитывают кавернозность (d, мм), время стояния обнаженных стенок скважины от момента перебурки до проведения кавернометрии (t, сут), глубину залегания (H, м).

Достоверность и точность определений прочностных свойств по геолого-геофизической модели находятся в пределах точности производственных лабораторных исследований и среднеквадратические отклонения по аргиллитам 15,7%, алевролитам 12,5 %, песчаникам 13,2%.

6 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ И ВЫБОРА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ В ЛАВАХ

Третье защищаемое положение. Разработанная геолого-геофизическая модель свойств и состояния углевмещающих пород служит научной основой прогноза устойчивости пород кровли и выбора типа механизированной крепи в лавах. Карта устойчивости пород кровли, построенная по геолого-разведочным данным с выделением соответствующих классов кровли по устойчивости в предпроектную стадию, обеспечивает рациональное и безопасное ведение горных работ в лавах.

В настоящее время тенденция развития горной промышленности с точки зрения безопасности требует особого внимания к совершенствованию разработки месторождений полезных ископаемых. Это особенно важно для угольной промышленности при применении подземного способа разработки. Одним из крупных предприятий угольной промышленности Казахстана является Карагандинский каменноугольный бассейн.

Угли Карагандинского бассейна обладают высоким качеством, так как они коксуются и применяются в металлургии при выплавке чугуна и стали. Карагандинский угольный бассейн, где ведется разработка подземным способом, характеризуется значительным разнообразием горно-геологических условий эксплуатации. Эти условия определяются залеганиями продуктивных пластов, тектоникой, гидрогеологией, литологическими типами пород и их физико-механическими свойствами [93].

Горные породы в условиях естественного залегания находятся в состоянии равновесия. Проведение горных выработок в массиве вызывает нарушение этого равновесия и перераспределение напряжений в различных конструктивных элементах и окружающих их горных породах.

При подземной разработке месторождений полезных ископаемых в терригенных породах возникают следующие наиболее распространенные геологические процессы и явления:

– выветривание, разуплотнение и искусственное разрушение горных пород по контурам выработок;

– расслаивание, зависание и обрушение горных пород в кровле выработок;

– выдавливание – пучение горных пород в почве выработок;

– оползание горных пород в бортах выработок;

– отжим горных пород и угля;

– динамические явления: стреляние, толчки, горные удары;

– газодинамические явления – выбросы угля и газа;

– горное давление на крепи выработок, целики, стенки, забои, защитные слои и другие элементы их конструкций;

– сдвижение горных пород и образование мульд сдвижения, заколов, трещин, провалов на поверхности Земли;

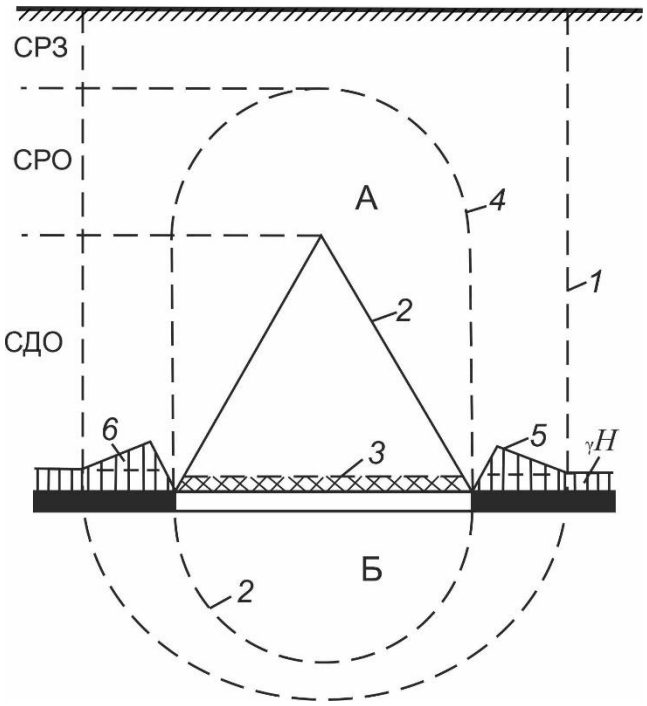
– оседание поверхности Земли, деформация и разрушения наземных сооружений;

– водопроявления [94-95].

Теоретические аспекты нарушения равновесия ослабленной горными выработками толщи и массивов пород, причины и факторы, оказывающие влияние на перераспределение горного давления, широко освещены в литературе. Процесс перераспределения напряжений особенно ярко выражается и интенсивно протекает вокруг очистных выработок. В пределах области влияния очистных выработок в массиве выделяются специфические зоны, которые отличаются степенью и характером воздействия на них горных работ и развития горного давления: разгрузки, беспорядочного обрушения, полных сдвижений, опорного давления и предельно-напряженного состояния (рисунок 6.1).

Зоной разгрузки называется такая часть области влияния очистной выработки, в пределах которой нормальные напряжения, действующие перпендикулярно к напластованию (плоскости отработки), меньше соответствующих напряжений в нетронутой толще. Она охватывает довольно большую зону над и под выработкой. Ее размеры и положение определяются шириной очистной выработки, глубиной разработки, углом падения и мощностью разрабатываемого пласта, составом, чередованием слоев и механическими свойствами горных пород. Разгрузка способствует расслоению пород кровли, проскальзыванию на контактах надработанных и особенно подработанных слоев, появлению и раскрытию трещин, нормальных к напластованию и не всегда совпадающих с трещинами, имевшимися в нетронутом массиве.

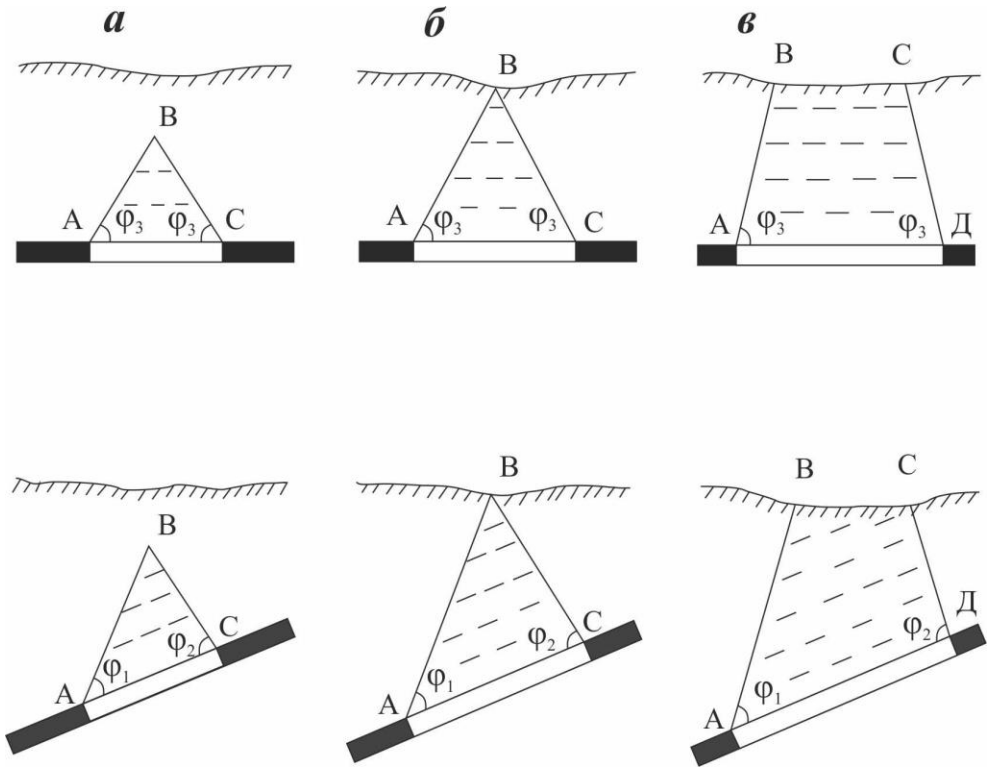
Эти процессы зачастую столь интенсивны в породах кровли, что в ближайших к выработке ее слоях возникает зона беспорядочного обрушения, в которой породы разделяются на блоки, сильно разрыхляются и создают подпор для прогибающихся слоев кровли и почвы. Высота этой зоны (если она образуется) невелика, обычно не превышает четырех-шестикратной мощности вынимаемого пласта. Иногда обрушения пород вообще не происходит. Это имеет место, во-первых, для очень прочных горных пород; во-вторых, когда ширина выработанного пространства недостаточна для обрушения пород кровли и, в-третьих, когда при весьма малой мощности пласта создаются условия для плавного сближения боковых пород на некотором расстоянии позади очистного забоя [95, с. 92; 96].



А – подработанная и Б – надработанная толщи; 1 – область влияния выработки; 2 – зона полных сдвижений; 3 – зона беспорядочного обрушения; 4 – зона разгрузки; 5 – зона опорного давления; 6 – эпюр напряжений; СДО – свод давления открыт; СРО – свод разгрузки открыт; СРЗ – свод разгрузки закрыт

Рисунок 6.1 - Схема перераспределения горного давления в ослабленной толще горных пород (по Петухову И.М., Линькову А.М.)

Зона полных сдвижений располагается в кровле и характеризуется тем, что породы в ней получают опору на почве вынимаемого пласта (рисунок 6.2). Она весьма рельефно выделяется при больших размерах очистных выработок, когда эта зона распространяется вплоть до земной поверхности и проявляется в специфических оседаниях ее, т.е. в образовании так называемого «плоского дна» мульды сдвижения (линия ВС на рисунке 6.2). Границы зоны образуются плоскостями, проходящими вблизи краев выработки под углами φ_3 к ее почве, составляющими в зависимости от свойств горных пород примерно 55-65°. При наклонном залегании вводятся аналогичные углы φ_1 (со стороны падения) и φ_2 (со стороны восстания). Внутри зоны полных сдвижений слои располагаются параллельно плоскостям своего естественного залегания, но испытывают деформации расширения, обусловленные разгрузкой и разуплотнением на контактах вследствие относительного смещения. Прогибы слоев кровли, охватываемых зоной полных сдвижений, за ее пределами уменьшаются от максимальных значений в зоне до сравнительно небольших величин над нетронутыми частями пласта. Эти процессы затухают по мере удаления от выработки [95, с. 92; 96, с. 71].



а – начало образования зоны; б – выход зоны на земную поверхность; в – образование «плоского дна» мульды сдвижения

Рисунок 6.2 - Развитие зоны полных сдвижений при горизонтальном и наклонном залегании (по Петухову И.М., Линькову А.М.) [95, с. 93]

Часть толщи пород в пределах области влияния очистной выработки, в которой нормальные к ее плоскости напряжения больше, чем в нетронутом массиве, называется зоной опорного давления. Возникновение этой зоны является следствием того, что на краевые части пласта передается вес подработанных пород, не получивших опоры на почве выработки. В этой области на современных глубинах разработок возникает значительное сжатие, которое приводит к необратимым деформациям в краевых частях около выработок.

Массивы горных пород, расположенные выше очистной выработки, называются подработанными. Они характеризуются тем, что в них направление силы тяжести обычно совпадает с направлением смещений. Это приводит к тому, что в слоистой толще при слабом сцеплении на контактах слои непосредственной кровли оказываются в положении плит, консолей, балок, находящихся под воздействием собственного веса. Как правило, слои разбиты трещинами (естественными или образующимися при разгрузке) на блоки и при увеличении ширины выработки эти блоки поворачиваются и смещаются относительно друг друга в совместном движении в выработанное пространство.

Массивы горных пород, расположенные ниже почвы очистных выработок отрабатываемого пласта, называются надработанными. Сила тяжести в них направлена в сторону от выработанного пространства и уменьшена, что делает

процесс их движения в выработку более простым по сравнению со сдвижением подработанных пород [95, с. 93].

При достаточно большой ширине выработки и достаточной мощности вынимаемого пласта слои пород кровли превращаются в шарнирный механизм и оказываются способными к обрушению. Тем самым создаются условия для роста прогибов в следующем слое и процесс имеет возможность распространяться все выше в породы налегающей толщи. При этом пролет каждого следующего слоя меньше, чем предыдущего. В конечном итоге породы, подвергающиеся наиболее активному сдвижению, оказываются ограниченными некоторой поверхностью. Ее сечению отвечает (рисунок 6.2) контур АВС. Соответствующая область и является зоной полных сдвижений. При дальнейшем развитии очистных работ аналогичный процесс воспроизводится у движущегося края выработки (у забоя) и зона полных сдвижений увеличивается, сохраняя в значительной степени геометрическое подобие. Пока она не выйдет на земную поверхность, говорят о неполной подработке [95, с. 94; 97].

Практика подработки удароопасных угольных пластов и опыт натурных испытаний показывают, что на расстояниях, превышающих двадцатикратную мощность отрабатываемого пласта, механические свойства, определяющие опасность горных ударов, существенно не изменяются. Таким образом, заметное изменение упругих свойств даже таких сравнительно слабых материалов, какими являются угли, происходит лишь в непосредственной близости от подрабатывающей выработки [51, с. 204].

Для выбора безопасного и рационального способа разработки важное значение имеет устойчивость пород кровли угольных пластов в очистных выработках. В связи с этим, научно-обоснованное прогнозирование устойчивости кровли угольных пластов в выработках шахт является одной из основных задач геологии, от решения которой зависят качество, полнота проектирования горнодобывающих предприятий и выбор типов механизированной крепи.

Под устойчивостью конструктивных элементов (кровли, поддерживающих целиков, стенок и почвы) горных выработок понимается способность слагающих их горных пород сохранять при обнажении равновесие, обеспечивающее целостность в течение требуемого срока службы и безопасные условия в рабочем пространстве. Как известно, устойчивость кровли во время эксплуатации зависит от множество геологических факторов, которые могут изменяться даже в пределах небольшой площади. Одним из способов наглядного изображения фактических геологоразведочных данных для прогноза поведения горного массива в очистных выработках является построение специализированных карт устойчивости пород кровли угольных пластов [51, с. 213].

Построение карты устойчивости пород кровли угольных пластов основано на результатах изучения литолого-фациального состава и физико-механических свойств вмещающих пород с учетом характеристики их устойчивости в горных выработках. С целью корреляции изменчивости петрографического состава основных литологических разностей и их физико-механических свойств

произведено изучение образцов шлифов, испытанных на физико-механические свойства, а также геофизических данных.

Таким образом, были обобщены фактические данные для характеристики физико-механических свойств горных пород непосредственной и основной кровель, разрабатываемых шахтой угольных пластов. По результатам лабораторных испытаний отобранных проб из керна разведочных скважин и монолитных проб из забоев горных выработок были определены значения временного сопротивления сжатию и растяжению, объемного веса, естественной влажности и пористости.

По данным геофизических методов исследования скважин оценено состояния стенок по разрезу, по данным натурных наблюдений в горных выработках изучена площадь допустимого обнажения и время обнаженного стояния кровли, характер деформирования пород кровли и груди угольного забоя, трещиноватость различных типов горных пород и их расслоения в обнажениях.

Существует множество классификаций горных пород кровли [98, 99] по устойчивости в выработках, основанных на количественном и качественном учете различных геологических и горнотехнических факторов. Анализ существующих классификаций показывает, что этот вопрос должен решаться в пределах каждого месторождения самостоятельно.

В результате изучения горно-геологических условий шахтных полей Карагандинского угольного бассейна классифицированы породы кровли угольных пластов по степени устойчивости в очистных выработках на пять классов (таблица 6.1).

Для определения классов кровли по устойчивости использованы следующие геологические и горно-технические параметры: литологические типы пород, значения прочности пород при одноосном сжатии (σ^c) и растяжении (σ^p), количества систем трещин (n) и расстояния между трещинами (l), мощность плит расслоения (m), значения коэффициента расслоения (Кр), изменение диаметра буровых скважин (Δd), предельная площадь (S) и время сохранения целостности (t) обнажения кровли, обрушаемость пород кровли в призабойном пространстве и периодичность их вторичных осадок в выработанном пространстве лавы.

I класс. Неустойчивые породы кровли при обнажении могут сохранять свою целостность в течение очень короткого промежутка времени (менее 0,5 часа). За такой срок не всегда возможно перекрыть обнажения пород кровли секциями механизированной крепи, что является причиной частых вывалов пород в призабойное пространство. Уменьшение мощности тонкоплитчатых аргиллитов и слабых алевролитов до 1 м и менее, независимо от прочности, приводит к резкой потере их устойчивости, т.е. формируется ложная кровля, которая обрушается вслед за выемкой угля. При бурении скважин из этих интервалов обычно целый керн не поднимается, увеличение диаметра скважин (по данным кавернометрии) за 3-5 суток после вскрытия в 2 раза и более превышает номинальный диаметр. Для увеличения пород неустойчивой и ложной кровли оставляется защитная пачка угля мощностью 0,4-0,5 м в верхней части пласта.

Для предотвращения потери угля, оставляемого в защитной пачке, рекомендуется применять химический метод, который является более эффективным для укрепления слабых пород кровли [93, с. 25].

Таблица 6.1 – Классификация устойчивости пород кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна по геологоразведочным данным (Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б., 2018)

Класс кровли	Литологический тип пород	Прочность, МПа		Расслоение		Трещиноватость		Δd, мм / сут	Обнажение кровли		Обрушаемость и вторичные осадки, цикл
		σ^c	σ^p	m, м	K_p, шт/м	n, шт	l, м		S, м^2	t, ч.	
1. Неустойчивая	Углистые аргиллиты и алевролиты, обогащенные углистым материалом до 20-58%	<15	<1,2	<0,1	>10	>6	<0,5	>20	<3	<0,5	Обрушается вслед за выемкой угля
2. Мало-устойчивая	Аргиллиты и алевролиты, обогащенные углистым материалом до 10-30%	15-25	1,2-2,0	0,1-0,25	4-10	4-8	0,3-1,0	10-20	3-10	до 2 ч.	Обрушается при снятии крепи
3. Средне-устойчивая	Массивные аргиллиты, тонкослоистые алевролиты и песчаники	20-40	2-3	0,25-0,6	1,6-4	2-4	0,5-1,5	5-10	10-50	до 1 сут.	5-10
4.Устойчивая	Массивные алевролиты, слоистые мелкозернистые песчаники	40-60	3-4	0,6-1,5	0,6-1,6	1-2	1-5		50-300	до 10 сут.	10-20
5.Трудно-обрушаемая	Монолитные крупнозернистые алевролиты и мелко-среднезернистые песчаники	>60	>4	>1,5	<0,6	0-1	>3	<5	300-15 тыс.	от 10 сут. до 1 мес.	20-40 и более

II класс. Малоустойчивые породы кровли могут сохранять целостность в течение 2 часов. При достаточно быстром подвигании забоя лавы породы кровли удается поддерживать секциями крепи. В этом случае управление кровлей осложнений не вызывает. Однако при наличии тектонических трещин или близком залегании над ними устойчивых и труднообрушаемых пород основной кровли наблюдается интенсивная деформация пород непосредственной кровли, их куполение высотой 1-1,5 м и обрушение высотой до 3-5 м, что приводит к снижению скорости ее подвигания и ухудшению состояния пород кровли. В очистных выработках рекомендуется применять механизированные крепи поддерживающе-оградительного типа.

III класс. Среднеустойчивые породы кровли при обнажении могут сохранять целостность в течение суток и управление кровлей полным обрушением за секциями крепи не вызывает осложнений. В очистных выработках применяют механизированные крепи оградительно-поддерживающего типа.

IV класс. Устойчивые породы кровли при посадке кровли расслаиваются на плиты мощностью 0,6-1,5 м и часто зависают за секциями крепи в выработанном пространстве лавы длиной до 5-6 м (на 5-10 циклов работы комбайна), создавая давление на крепь и забой лавы.

Это может привести к деформации нижних слоев пород кровли и значительному разрушению угольного пласта вдоль забоя. В очистных выработках с устойчивой кровлей следует применять механизированные крепи поддерживающего типа с повышенным рабочим сопротивлением.

V класс. Труднообрушаемые породы кровли способны зависать в выработанном пространстве лавы длиной на более чем 5-10 м в течение от 10 суток до 1 месяца и более, обрушаются затем крупными блоками и создают сильное давление на крепь и на забой. Возможно срабатывание предохранительных клапанов секций механизированной крепи и характерно появление в призабойном пространстве заколов и обрезов в нижних слоях пород кровли. Наблюдается усиленное разрушение и отделение блоков угля от забоя на всю вынимаемую мощность пласта на глубину в забой до 1 м и более протяженностью вдоль лавы до 3–5 м. Все это снижает безопасность ведения работ в призабойном пространстве, резко сокращается подвигание очистного забоя, возможны завалы лав. Эффективным способом управления труднообрушаемой кровлей может быть передовое торпедирование с взрыванием зарядов в длинных скважинах опережающего бурения или применение усиленных механизированных крепей [93, с. 26].

Представленная карта устойчивости пород кровли угольного пласта $д_6$ шахты имени Ленина (рисунок 6.3) может решать вопросы, связанные с планированием горных работ, выбором способа управления кровлей и технологией разработки. При построении карты устойчивости [100] учитывались следующие особенности шахтного поля Карагандинского бассейна: литолого-прочностные характеристики пород, гидрогеологические условия, трещиноватость и разрывные нарушения. К легкообрушаемым породам отнесены углистые породы, аргиллиты, алевролиты, переслаивание песчаников

с алевролитами прочностью менее 15 МПа, которые входят в интервал некондиционной части пласта, ложной и непосредственной кровли. Прочностью более 60 МПа характеризуются труднообрушаемые песчаники, переслаивание песчаников с алевролитами и песчанистые алевролиты основной кровли. Прослои прочных песчаников мощностью менее 3,0 м отнесены к легкообрушаемым. Основная кровля представлена песчаниками (60 %), алевролитами (19 %) и переслаиванием (21 %). Средняя прочность пород составляет 64 МПа. Непосредственная кровля пласта сложена алевролитами (80 %), переслаиванием песчано-глинистых пород (20 %). Прочность пород колеблется в пределах 22-48 МПа. Ложная кровля определена лишь в нескольких скважинах, которая представлена аргиллитами мощностью в среднем 0,20 м. Прочность составляет 16 МПа. Труднообрушающиеся породы основной кровли пласта имеют прочность 69 МПа, легкообрушающиеся непосредственной кровли соответственно 17 МПа.

Кровля пласта $д_6$ на большей площади охарактеризована как среднеустойчивая по результатам литолого-прочностных свойств и имеет почти повсеместное распространение. Она представлена аргиллитами, тонкослоистыми однородными алевролитами и мелкозернистыми песчаниками. На отдельных небольших участках шахтного поля наблюдается устойчивая кровли, представленная относительно однородными алевролитами и мелкозернистыми слоистыми песчаниками (например, в северной, северо-западной, восточной и юго-восточной частях). Труднообрушаемая кровля сложена из монолитных крупнозернистых алевролитов и средне-, мелкозернистых песчаников и направление обособленных участков с северо-востока на юго-восток. Малоустойчивая кровля, состоящая из углистых аргиллитов и алевролитов, занимает небольшие площади в центральной и западной частях. Мощности малоустойчивых горных пород до 2 м, среднеустойчивых – до 42 м, устойчивых пород – до 36 м, труднообрушаемых – от 3 до 38 м [93, с. 26].

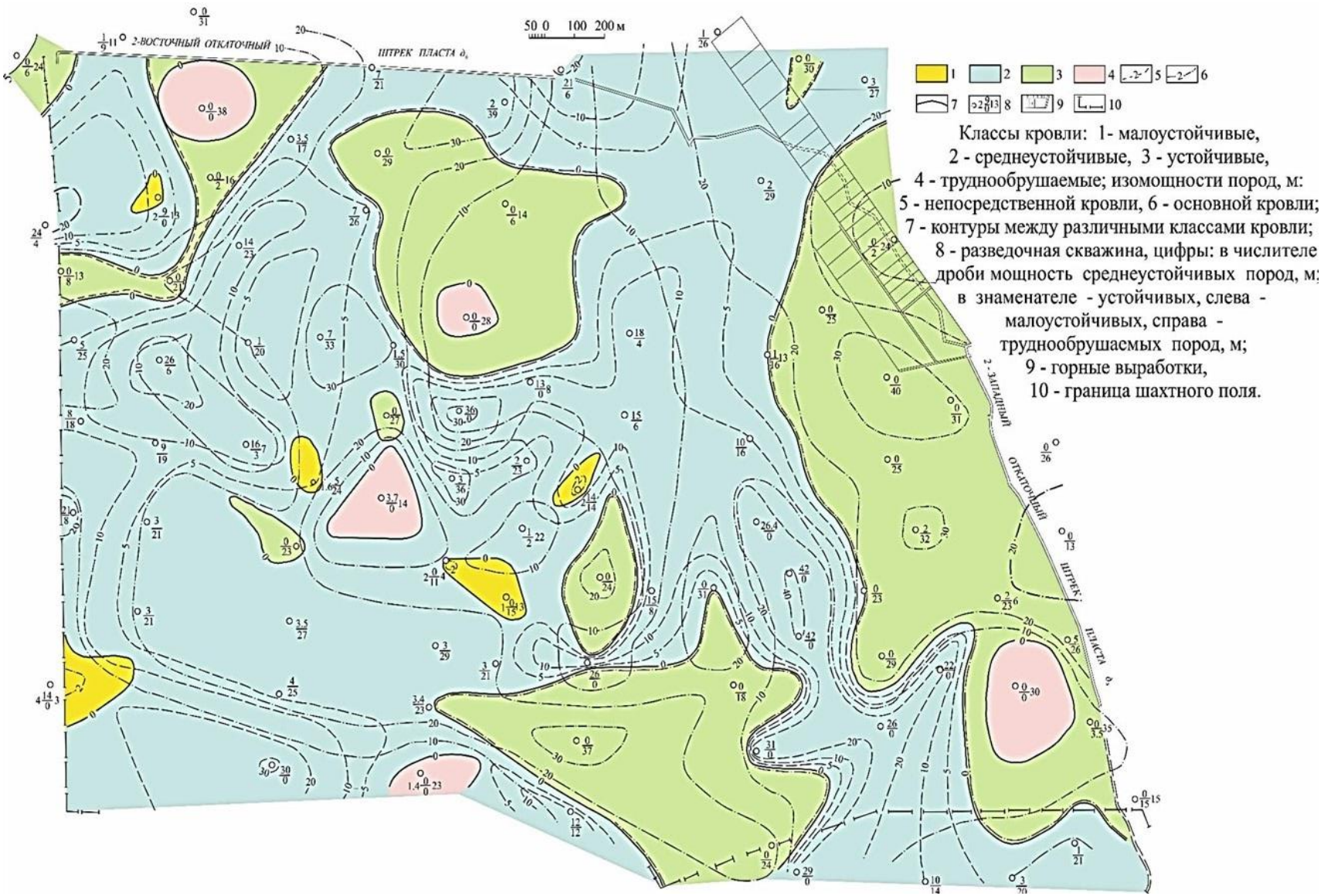


Рисунок 6.3 – Карта устойчивости пород кровли пласта $д_6$

Выводы по главе 6

1 Геологические процессы и явления, приводящие к обрушению пород кровли очистных выработок, возникают в результате выветривания, разуплотнения и искусственного разрушения горных пород по контурам выработок, расслаивания, зависания и обрушения горных пород в кровле выработок, пучения горных пород в почве выработок, оползания горных пород в бортах выработок, отжима горных пород и угля, динамических явлений, таких как стреляние, толчки, горные удары, выбросы угля и газа, горного давления на крепи выработок, сдвижения горных пород и образование мульд сдвижения, заколов, трещин, провалов на поверхности Земли, оседания поверхности Земли, деформации и разрушения наземных сооружений, водопроявления.

Процесс перераспределения напряжений обуславливает созданию специфических зон вокруг очистных выработок: зона разгрузки, зона беспорядочного обрушения, зона полных сдвижений, зона опорного давления, зона предельно-напряженного состояния. Эти зоны между собой отличаются степенью и характером нагрузки на них горных работ и очистных выработок.

2 Основой разработанной классификации и рекомендации рационального и безопасного ведения горных работ являются результаты проведенных исследований на участках Карагандинского бассейна .

Количественными показателями устойчивости пород кровли угольных пластов, объективно характеризующие горно-геологические условия в очистных выработках, служат результаты литолого-фациального анализа, физико-механические свойства по предлагаемой геолого-геофизической модели, трещиноватость и расслаиваемость пород, изменение диаметра скважин при бурении, предельная площадь и время сохранения целостности обнажения кровли. К таким элементам относятся также допускаемая площадь обнажения непосредственной кровли, площади обрушающихся блоков, величина периодического шага обрушения основной кровли. Степень устойчивости непосредственной кровли также можно определять конвергенцией на различных расстояниях от забоя.

Составленные прогнозные карты устойчивости пород кровли должны корректироваться по мере накопления новых данных при эксплуатационной разведке шахтных полей. Инженерно-геологическое районирование шахтных полей позволяет сделать надежный прогноз горно-геологических явлений и выбор типа крепи и способа контроля состояния горного массива для благоприятной выемки угля в очистных выработках. Таким образом, специализированные карты кровли угольного пласта могут служить основой для управления кровлей угольных пластов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований

В современных условиях быстрое развитие науки и техники требует совершенствования методов получения и обработки геологической информации. В связи с этим, идет переход от описания к точной математической оценке свойств и состояния горного массива. Поэтому обработка ранее не использованных геофизических, лабораторных и натурных данных дают возможность решать инженерно-геологические задачи.

В результате исследований по теме диссертации получены следующие значимые результаты, которые отражают научную новизну и практическую ценность:

1 Литолого-генетический состав, фациальный тип и питающие провинции являются первичными факторами для определения физико-механических свойств. На основе выполненных петрографических исследований выявлена связь между питающими провинциями и составом осадочных пород Карагандинского бассейна.

Питающими провинциями терригенных пород угленосной толщи служили сложный комплекс пород окружающей суши: кислые, средние и основные магматические, вулканогенно-осадочные и древние метаморфические горные породы.

У терригенных пород угольных месторождений региона в силу тектонической обстановки и сноса исходного материала из близлежащих источников сложных терригенно-минеральных провинций формируется грауваковый и кварц-полевошпатовый состав, обусловивший довольно высокие значения прочности пород.

В результате петрографических исследований построена диаграмма формирования состава терригенных пород угленосной толщи Карагандинского бассейна из источников питающих провинций, представляющих собой сложные терригенно-минеральные комплексы.

2 Для количественной оценки степени изменения осадочных пород в сложном процессе литогенеза, от которой зависят их физико-механические свойства, применяется отражательная способность витринита, который является одним из основных составлящих компонентов угля. Количественным показателем является «импульс метаморфизма», который имеет математическое выражение. Чем больше «импульс метаморфизма», тем выше стадия метаморфизма углей, соответственно выше стадии преобразования углевмещающих пород.

3 Аргиллиты характеризуются наименьшими значениями ρ_K, а также низкими значениями прочности (σ_C и σ_P), объемного веса (q) и высокими значениями пористости (П), естественной влажности (W). С увеличением обломков алевролитов увеличиваются их ρ_K, σ_C, σ_P, q, наоборот уменьшаются П и W. Мелко- и среднезернистые песчаники имеют высокие значения ρ_K, σ_C, σ_P, q и низкие значения П, W. Таким образом, между физико-механическими

свойствами пород и их удельными электрическими сопротивлениями наблюдается корреляционная связь. Прямую связь ρ_K имеет с σ_C, σ_P, q пород и обратную – с их П и W.

4 Установлено, что изменение диаметра скважины (d) в процессе ее бурения зависит от литологического состава пересекаемых пород и их механической прочности, а также от времени обнаженного стояния стенок скважины (t) от момента перебурки до момента записи кавернограммы. Это дает возможность изучать физико-механические свойства пород разреза скважины по данным кавернометрии.

Для упрощенного определения физико-механических свойств пород получены эмпирические формулы по методу КС и кавернометрии в отдельности. Связь механической прочности (σ_c) пород, слагающих разрез скважины с кавернозностью (d, мм), учитывая влияние на последнее времени стояния обнаженных стенок скважины от момента перебурки до проведения кавернометрии (t, сут) и глубины залегания (Н, м), характеризуется уравнениями соответственно для аргиллитов, алевролитов и песчаников уравнениями.

5 Впервые по результатам исследований, породы кровли угольных пластов Карагандинского каменноугольного бассейна подразделены на пять классов по устойчивости. С учетом вышеназванных результатов исследований классификация составлена на основе литолого-прочностных свойств, расслоении, трещиноватости углевмещающих пород. К легкообрушаемым породам отнесены углистые породы, аргиллиты, алевролиты, переслаивание песчаников с алевролитами прочностью менее 15 МПа, которые входят в интервал некондиционной части пласта, ложной и непосредственной кровли. Прочностью более 60 МПа характеризуются труднообрушаемые песчаники, переслаивание песчаников с алевролитами и песчанистые алевролиты основной кровли. Специализированные карты устойчивости пород кровли могут быть использованы для решения вопросов, связанных с планированием горных работ, выбором способа управления кровлей разрабатываемых угольных пластов бассейна.

Оценка полноты решения поставленных задач

Все поставленные задачи перед диссертантом решены:

– проведены натурные наблюдения в шахтном поле за поведением кровли горных выработок;

– проведены микроскопические исследования с целью выявления связи состава и строения углевмещающих пород с источниками питающих провинций;

– проведены лабораторные испытания образцов для определения физико-механических свойств углевмещающих пород;

– интерпретированы каротажные диаграммы геофизических исследований разведочных буровых скважин методом электрического кажущегося сопротивления;

– создана геолого-геофизическая модель физико-механических свойств пород;

– разработаны классификация пород по устойчивости и рекомендации для выбора типа механизированных крепей;

– составлена прогнозная карта устойчивости пород кровли угольного пласта.

Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов

Разработанную методику исследований, возможно, применить для аналогичных осадочных месторождений.

По результатам работы разработаны рекомендации по повышению достоверности контроля устойчивости массива горных пород, принятые к рекомендуются на шахтах. Основные положения и результаты исследований рекомендуются на шахтах Угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау» и в учебном процессе лекционных курсов дисциплин бакалавриата «Рудничная геология», «Геология месторождений полезных ископаемых» Казахского Национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

Реализация научных исследований выполнена в рамках проектов программно-целевого финансирования № BR05233713 «Комплексное геологическое изучение недр для развития ресурсной базы и разработки новых источников рудного сырья Казахстана» и № U1261203 «Объединенный проект по углю Национального фонда естествознания» (КНР) на 2018-2020 гг. в виде научных статей и докладов в международных научных конференциях и симпозиумов.

Оценка экономической эффективности технологии

В зонах повышенного горного давления темпы проведения подготовительных выработок зачастую остаются недостаточными для перекрытия обнаженной кровли и воспроизводства очистного фронта в лавах (менее 85 м/мес.), что приводит к несвоевременному вводу в эксплуатацию очистных забоев, оборудованных механизированными комплексами. Среднегодовые простои одного комплексно-механизированного забоя на шахтах в среднем составляет 45 дней, что влечет потерю добычи угля по компании до 1,8 млн т/год. Проведенный анализ показателей работы длинных очистных забоев, оснащенных механизированными комплексами, показал, что до 85% простоев в работе вызвано внезапным обрушением пород кровли разрабатываемых угольных пластов и разрушением элементов крепи на участках подготовительных выработок с различными кровлями по устойчивости.

Для снижения потерь угля и обеспечения высоких темпов проведения и безремонтного поддержания подготовительных выработок с различными породами в кровле рекомендуются дополнительные работы по возведению крепи усиления и упрочнению углевмещающего массива, которые отражены в разработанной автором классификации. Для предотвращения потери угля, оставляемого в защитной пачке, рекомендуется применять химический метод для неустойчивых пород кровли, который является более эффективным для

укрепления слабых пород кровли. Для более устойчивой кровли рекомендуется применять различные типы механизированных крепей.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области

На основе анализа литературных источников, результатов натурных и лабораторных экспериментов, математической обработки полученных данных можно сделать вывод о том, что диссертационная работа отвечает всем требованиям современного состояния науки и техники.

Применение современных методов исследования обосновывает достоверность полученных результатов и научную ценность. Научные положения и результаты диссертационной работы подтверждены публикациями и широко апробированы в материалах международных научно-практических конференций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Геологический словарь. А-Й / под ред. Петров О.В. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – Т. 1. – 432 с.

2 Геологический словарь. К-П / под ред. Петров О.В. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. Т. 2. – 480 с.

3 Геологический словарь. Р-Я / под ред. Петров О.В. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. – Т. 3. – 440 с.

4 Ыдырыс С.С. Угольная отрасль - один из базовых секторов экономики Республики Казахстан // Вестник КарГУ. – 2007. www.articlekz.com 19.08.2019.

5 Постановление Правительства Республики Казахстан. Концепция развития угольной промышленности Республики Казахстан на период до 2020 года: утв. 28 июня 2008 года № 644.

6 Байбатчаев А.Б. Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений в терригенных породах Центрального Казахстана: автореф. … док. геол.-мин. наук: 04.00.07. – Ленинград, 1991. – 36 с.

7 Гриб Н.Н. Разработка методов прогнозирования технологических характеристик углей, литологического состава и физико-механических свойств углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна по геофизическим данным: автореф. ... док. техн. наук: 05.15.11. – Кемерово, 1999. – 48 с.

8 Солошенко А.А. Разработка геолого-геофизической типизации пород кровли угольных пластов по устойчивости и обрушаемости: автореф. ... канд. техн. наук: 25.00.20. – Хабаровск, 2006. – 24 с.

9 Gregory M. Molinda. Geologic Hazards and Roof Stability in Coal Mines. Information Circular 9466. - Pittsburgh, 2003.

10 Li, C., Peng, S., Zhao, J., Cui, X., Du, W., Satibekova, S. Polarity-preserved diffraction extracting method using modified apex-shifted Radon transform and double-branch Radon transform // Journal of Geophysics and Engineering. – 2018. – Vol. 15, № 5. – P. 1991-2000.

11 Калмыков Д.Е., Маликова А.Д. Загнанные в уголь. Обзор угледобыча и угольная энергогенерация в Казахстане. Состояние и перспективы. – Караганда, 2017. – 70 с.

12 Анализ опасностей и оценка техногенного риска. www.riskprom.ru 19.08.2019.

13 Пак Г.А., Долгоносов В.Н., Панасенко Е.А., Долгоносова Е.В. Периодические выбросы метана из очистного пространства на шахтах «Саранская» и «Сокурская» // Труды Университета. – 2011. – №2. – С. 58-62.

14 Шахтерская энциклопедия. www.miningwiki.ru 19.08.2019.

15 Prusek S., Rajwa S., Wrana A., Krzemien A. Assessment of roof fall risk in longwall coal mines // International Journal of Mining, Reclamation and Environment (Open Access Journal). – 2016. - № 8. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480930.2016.1200897. 19.08.2019.

16 Бенявски З. Управление горным давлением. – М.: Мир, 1990. – 254 с.

17 Панюков П.Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.

18 Кобилев А.Г., Лось М.М. Методика литолого-фациального анализа прогноза условий разработки угольных пластов. – М.: Недра, 1976. – 120 с.

19 Отчет по переоценке запасов угля по шахтам угольного департамента АО «Арселормиттал Темиртау» (списание запасов по состоянию на 01.01.2011 г.) / ТГФ «Центрказнедра», исполн.: Ревуцкая Т.Г. – Караганда, 2012. - 136 с.

20 Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Угольные бассейны и месторождения Казахстана / под ред. М.В. Голицын. - М.: Недра, 1973. – Т. 5. – 720 с.

21 Атлас моделей месторождений полезных ископаемых / под ред. Даукеева С.Ж., Ужкенова Б.С. и др. – Алматы, 2004. – 140 с.

22 Кушев Г.Л. Карагандинский угленосный бассейн. – Алматы, 1963. – 345 с.

23 Геология Карагандинского угольного бассейна / Коллектив авторов Бекман В.М. и др. – М.: Недра, 1972. – 416 с.

24 Сатибекова С.Б. Характер распределения пород кровли рабочих угольных пластов нижней подсвиты карагандинской свиты шахты имени Костенко: магист. дис.: 6М070600. – Караганда, 2012. – 69 с.

25 Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие для вузов. – Изд. 2-е , перер. и доп. – Л.: Недра, 1990. – 328 с.

26 Приказ министерства угольной промышленности СССР. Единая методика прогнозирования горно-геологических условий разработки угольных пластов: утв. 23 ноября 1981, № 529.

27 Guangui Z., Hu Z., Suping P., Xiaoyu Zh., Satibekova S. Bulk density and bulk modulus of adsorbed coalbed methane // Geophysics. – 2018. – Vol.84 – Number 2 – P. 1-11.

28 GCTS 2010 catalog. User’s guide and reference. CATS Ultrasonics 1.95. – Arizona. – 2010.

29 Серебряков А.О. Синергия геологоразведочных технологий исследования природных ресурсов морских акваторий: монография. – Астрахань: Астраханский университет, 2013. – 229 с.

30 Prasanta K. Mukhopadhyay, Wallace G. Dow. Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter: Applications and Limitations // ACS Symposium Series, American Chemical Society. – 1994. – Vol. 570. – Chapter 1. – P. 1-24.

31 Aniela Matuszewska, Sławomira Pusz, Stanisław Duber. Evaluation of the structure of bituminous coal from Sosnica mine in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) using reflectance indicating surface (RIS) parameters // International Journal of Coal Geology. – 2015. - № 152. – P. 177-188.

32 ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – М., 1988.

33 ГОСТ 12113-94. Угли бурые, каменные, антрациты, твердые рассеянные органические вещества и углеродистые материалы. Метод определения показателей отражения. – М., 1994.

34 ASTM D388 Standard Classification of Coals by Rank. – 2018.

35 ASTM D2798 Test Method for Microscopical Determination of the Vitrinite Reflectance of Coal. – 2018.

36 ISO 11760. International Standard, Classification of coals. – Geneva, 2005.

37 Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – Изд. 2-е, перер. и доп. – М.: Недра, 1991. – 363 с.

38 Столбова Н.Ф. Петрология углей. – Томск, ТПУ, 2013. – 77 с.

39 Ермолов В.А. Месторождения полезных ископаемых. – М.: Горная книга, 2009. – 570 с.

40 Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых. – Алматы: Асыл кітап, 2019. – 432 с.

41 Hatherly, P. (2013). Overview on the application of geophysics in coal mining // International Journal of Coal Geology, 114, P. 74-84. doi:10.1016/j.coal.2013.02.006

42 Борисенко Г.Т., Ахметов Е.М. Геофизические методы исследования в рудных и угольных скважинах. Учеб. пособие. - Алматы: КазНТУ нм. К.И. Сатпаева, 2014. - 276 с.

43 Аплонов С.В., Титов К.В. Геофизика для геологов: Учебник. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2010. – 248 с.

44 Геофизика: учебник / под ред. Хмелевского В.К. – М.: КДУ, 2007. – 320 с.

45 YUE Lei. Application of Geophysical Technique in the Coal Mining // iJOE. – 2015 – Volume 11, Issue 7. - P. 11-13 http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v11i7.4759

46 Гречухин В.В. Геофизические методы исследования угольных скважин. – М.: Недра, 1971. – 552 с.

47 Гречухин В.В. Изучение угольных формаций геофизическими методами – М.: Недра, 1980. – 360 с.

48 Larry Thomas. Coal geology. – 2nd ed. – Wiley-Blackwell, 2013. – 444 p.

49 Gary Nichols. Sedimentology and stratigraphy. – 2nd ed. – Wiley-Blackwell, 2009. – 419 p.

50 Suping P. Engineering Geology for Underground Rocks. – Berlin, 2007. – 320 p.

51 Байбатша А.Б. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых с основами геоинформатики. – Алматы: Ғылым, 2003. – 320 с.

52 Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы. – М.: Недра, 1981. – 751 с.

53 Haughton P.D.W., Todd S.P., Morton A.C. Sedimentary provenance studies. // Developments in Sedimentary Provenance Studies. Geological Society. – London, 1991. – Vol. 57, № 1. – P. 1-11.

54 Sam Boggs JR. Petrology of sedimentary rocks. – 2nd ed. – Cambridge University Press, 2009. – 600 p.

55 Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. – М.-Л.: АН СССР, 1947. – 338 с.

56 Бергер М.Г. Терригенная минералогия. – М.: Недра, 1986. – 277 с.

57 Sam Boggs JR. Principles of sedimentology and stratigraphy / 4th edition. – Pearson Education, 2006. – 662 p.

58 Robert L. Folk. Petrology of Sedimentary Rocks. – Austin: Hemphill Publishing Company, 1980. – 184 p.

59 Наливкин Д.В. Учение о фациях. Географические условия образования осадков. – М.-Л., 1956. – Т. 4. – 534 с.

60 Наливкин Д.В. Учение о фациях. Географические условия образования осадков. – М.-Л., 1956. – Т. 2. – 395 с.

61 Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б. О питающих провинциях угленосной толщи Карагандинского бассейна // Вестник КБТУ. – Алматы, 2018. – № 4. – С. 94-101.

62 Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б. Фациальные типы и литогенетический состав угольных свит Карагандинского бассейна // Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2018. – № 2. – С. 24-30.

63 Справочное руководство по петрографии осадочных пород / под ред. Татарского В.Б. – Л.: 1958. – Т. 2. – 519 с.

64 Справочное руководство по петрографии осадочных пород / под ред. Татарского В.Б. – Л.: 1958. – Т. 1. – 485 с.

65 Бекботаев А.Т. Литология. – Алматы: ҚазҰТУ, 2009. – 268 б.

66 Малиновский А.И. Основы литологии. – Владивосток: Даль-Наука, 2013. – 188 с.

67 Морозов В.П., Кольчугин А.Н. Нефтегазовая литология. – Казань: Казанский университет, 2012. – 25 с.

68 Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б. Литофациальные особенности угленосных свит Карагандинского бассейна // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI междунар. симпоз. им. академика М.А. Усова, студ. и мол. ученых. – Томск, 2017. – С. 73-74.

69 Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / под ред. Дортман Н.Б. – М.: Недра, 1984. – 455 с.

70 Baibatsha A., Bekbotaeva A., Satibekova S. The Penecontemporaneous Transformation and Physical-Mechanical Properties of Terrigeneous Rocks // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – Sofia, 2017. – Vol. 17, № 11. – P. 651-658.

71 Ломтадзе В.Д. Изменение влажности глин при уплотнении их большими нагрузками // Зап. Ленингр. горн. инст-та (геологоразведочное дело). – М.-Л., 1953. – Т. 29, Вып. 2. – С. 103-123.

72 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1986. – 272 с.

73 McCartney J.T., Teichmuller. Classification of coals according to degree of coalification by reflectance of the vitrinite component // Fuel. – 1972. – № 51. – P. 64-68.

74 Ермеков М.А. Модель метаморфизма углей // Известия АН КазССР. Серия «Геология». – Алматы, 1990. – № 1. – С. 28-32.

75 Голицын М.В. Закономерности метаморфизма палеозойских углей Центрального Казахстана: автореф. ... док. геол.-минерал. наук: 04.00.16. – Л., 1975. – 43 с.

76 S. Pusz, A.G. Borrego, D. Alvarez etc. Application of reflectance parameters in the estimation of the structural order of coals and carbonaceous materials. Precision and bias of measurements derived from the ICCP structural working group // International Journal of Coal Geology. – 2014. - № 131. – P. 147-161.

77 Baibatsha A., Suping P., Satibekova S. Estimation of the physical-mechanical properties of the rocks on the degree of coal metamorphism // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. Volume 1, Number 433 (February 2019), P. 187 – 194.

78 Хямяляйнен В.А., Шиканов А.И., Зюзин Е.А., Волков Н.Н. Прогноз устойчивости пород кровли пологих угольных пластов на основе методов электроразведки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 2. – С. 48-50.

79 David C. Oyler etc. In situ estimation of roof rock strength using sonic logging // International Journal of Coal Geology. – 2010. – P. 484-490.

80 McCann D.M., Entwisle D.C. Determination of Young's modulus of the rock mass from geophysical well logs // Geological applications of wireline logs. – 1992. – P. 317-325.

81 G.H. McNally. Estimation of Coal Measures Rock Strength Using Sonic and Neutron Logs // Geoexploration. – 1987. – P. 381-395.

82 Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю. Прогнозирование физико-механических свойств углевмещающих пород на основе данных геофизических исследований скважин и математического аппарата Марковской нелинейной статистики // Уголь. – 2018. – №1. – С. 68-73.

83 Байконуров О.А., Мельников В.А. Основы горной геофизики. – Алматы, 1970. – 327 с.

84 Танайно А.С. Сопоставление классификаций горных пород по прочности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2003. - № 6. – С. 13-17.

85 Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 76 с.

86 Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии (статистический анализ геологических данных). – М.: Недра, 1965. – 260 с.

87 Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – 319 с.

88 Миллер Р.Л., Кан Дж.С. Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир, 1965. – 481 с.

89 Боковое электрическое зондирование. www.ngpedia.ru. 19.08.2019.

90 Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б. Оценка физико-механических свойств углевмещающих пород карагандинского бассейна по геолого-геофизическим данным. // Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2019. – № 2. – С. 51-56.

91 Meng Zhaoping, Yi Wu, Tiedemann Joachim. Analysis of Mechanical Properties of Sedimentary Rocks of Coal Measures and Their Influencing Factors // The 40th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS): Rock Mechanics for Energy, Mineral and Infrastructure Development in the Northern Regions. – Anchorage, 2005.

92 Baibatsha A., Satibekova S., Baibatchayeva Z. Application of geophysical well logging data to assess the physicalmechanical properties of rocks // Sixteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society

93 Байбатша А.Б., Сатибекова С.Б. Прогнозирование устойчивости пород кровли угольных пластов в очистных выработках по геологоразведочным данным // Горный журнал Казахстана. – 2018. – № 2. – С. 23-27.

94 Ақжан Әл-Машани. Әл-Фараби және бүгінгі ғылым. – Алматы: Алаш, 2004. – 216 б.

95 Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 279 с.

96 Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.

97Сатибекова С.Б. Геологические методы прогноза неблагоприятных проявлений горного давления в подземных очистных выработках // Сборн. труд. межд. научн.-практич. конф. «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». – Алматы, 2019. – С. 163-167.

98 Christopher Mark, Gregory M. Molinda. Development and application of the coal mine roof rating (CMRR) // Proceedings of the international workshop on rock mass classification in underground mining. – Pittsburgh, 2007. – P. 95-109.

99 Ramin R. Development rock behavior index around underground space using a rock engineering system // Journal of Geology and Mining Research. – 2014. – Vol. 6, № 4. – P. 46-56.

100 Глушко В.Т., Кирничанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт. – М.: Недра, 1974. – 176 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты определения физико-механических свойств пород на машине системы тестирования GCTS: Rapid Triaxial Rock Testing System (RTR-1000)

Таблица А.1 – Физико-механические свойства углевмещающих пород

Type: Sandstone (Sa-1) Height: 100.070 mm = *0.1 m* Density: 2.17e-006 kg/mm^3 = *1959,5 kg/m^3 = 1.959 g/cm^3* Mass: 0.392 kg Diameter: 47.98 mm = *0.048 m* Volume: 180932 mm^3 = *0.0002 m^3* P Velocity: 3000 (m/s) S Velocity: 1914 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.16 = *0.16* Young's Modulus: 18360062 (kPa) = *16611768 (kPa)* Bulk Modulus: 8913223 (kPa) = *8066325 (kPa)* Shear (Rigidity) Modulus: 7936475 (kPa) = *7180256 (kPa)* Cell pressure 4 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3623 (m/s) S Velocity: 2332 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.15 Young's Modulus: 27904248 (kPa) Bulk Modulus: 13162368 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 12167554 (kPa) Cell pressure 8 MPa
Type: Sandstone (Sa-1) Height: 100.070 mm Density: 2.17e-006 kg/mm^3 Mass: 0.392 kg Diameter: 47.98 mm Volume: 180932 mm^3 P Velocity: 3111 (m/s) S Velocity: 1997 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.15 Young's Modulus: 19871246 (kPa) Bulk Modulus: 9448110 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 8643678 (kPa) Cell pressure 6 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3702 (m/s) S Velocity: 2379 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.15 Young's Modulus: 29084140 (kPa) Bulk Modulus: 13780228 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 12664679 (kPa) Cell pressure 10 MPa
Type: Sandstone (Sa-1) Height: 100.070 mm Density: 2.17e-006 kg/mm^3 Mass: 0.392 kg Diameter: 47.98 mm Volume: 180932 mm^3 P Velocity: 3218 (m/s) S Velocity: 2067 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.15 Young's Modulus: 21269464 (kPa) Bulk Modulus: 10097689 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 9256137 (kPa) Cell pressure 8 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3779(m/s) S Velocity: 2384 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 29754542 (kPa) Bulk Modulus: 14987714 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 12725156 (kPa) Cell pressure 12 MPa
Type: Sandstone (Sa-1) Height: 100.070 mm Density: 2.17e-006 kg/mm^3 Mass: 0.392 kg Diameter: 47.98 mm Volume: 180932 mm^3 P Velocity: 3341 (m/s) S Velocity: 2114 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 22575788 (kPa) Bulk Modulus: ,11274421 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 9678642 (kPa) Cell pressure 10 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3851 (m/s) S Velocity: 2434 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 30957570 (kPa) Bulk Modulus: 15521081 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 13257207 (kPa) Cell pressure 14 MPa

Продолжение таблицы А.1

Type: Sandstone (Sa-1) Height: 100.070 mm Density: ,2.17e-006 kg/mm^3 Mass: 0.392 kg Diameter: 47.98 mm Volume: 180932 mm^3 P Velocity: 3476 (m/s) S Velocity: 2195 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 24391188 (kPa) Bulk Modulus: 12254168 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 10439110 (kPa) Cell pressure 15 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3896 (m/s) S Velocity: 2446 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 31457962 (kPa) Bulk Modulus: 16128483 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 13387240 (kPa) Cell pressure 16 MPa
Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3266 (m/s) S Velocity: 2182 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.10 Young's Modulus: 23376314 (kPa) Bulk Modulus: 9675284 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 10651557 (kPa) Cell pressure 2 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3919 (m/s) S Velocity: 2473 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 32007398 (kPa) Bulk Modulus: 16129688 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 13686911 (kPa) Cell pressure 18 MPa
Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-00 6kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3382 (m/s) S Velocity: 2224 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.12 Young's Modulus: 24781714 (kPa) Bulk Modulus: 10838645 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 11073847 (kPa) Cell pressure 4 MPa	Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3950 (m/s) S Velocity: 2495 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.17 Young's Modulus: 32553792 (kPa) Bulk Modulus: 16343994 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 13935279 (kPa) Cell pressure 20 MPa
Type: Sandstone (Sa-2) Height: 99.980 mm Density: 2.24e-006 kg/mm^3 Mass: 0.41 kg Diameter: 48.3 mm Volume: 183188 mm^3 P Velocity: 3501 (m/s) S Velocity: 2296 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.12 Young's Modulus: 26488428 (kPa) Bulk Modulus: 11697717 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 11797822 (kPa) Cell pressure 6 MPa	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты определения пористости на измерителе пористости, сконструированном SKL

Таблица Б.1 – Пористость горных пород

Sample	**sa-1**	**Sample**	**sa-2**	**Sample**	**coal**	**Sample**	**l-1**
Mesured No.	1	Mesured No.	1	Mesured No.	1	Mesured No.	1
Weight(g)	411,190	Weight(g)	391,900	Weight(g)	108,620	Weight(g)	65,520
Length(cm)	4,950	Length(cm)	4,950	Length(cm)	6,990	Length(cm)	4,980
Diameter(cm)	2,450	Diameter(cm)	2,450	Diameter(cm)	3,720	Diameter(cm)	2,523
Block(cm3)	59,648	Block(cm3)	59,648	Block(cm3)	0,000	Block(cm3)	59,648
V1(cm3)	102,562	V1(cm3)	102,562	V1(cm3)	102,562	V1(cm3)	102,562
V2(cm3)	94,568	V2(cm3)	94,568	V2(cm3)	94,568	V2(cm3)	94,568
P1(Psi)	66,610	P1(Psi)	64,010	P1(Psi)	60,940	P1(Psi)	63,770
P2(Psi)	54,630	P2(Psi)	55,710	P2(Psi)	47,370	P2(Psi)	57,230
Vb(cm3)	23,336	Vb(cm3)	23,336	Vb(cm3)	75,972	Vb(cm3)	24,897
Vg(cm3)	12,429	Vg(cm3)	19,640	Vg(cm3)	65,187	Vg(cm3)	23,200
Rhob(g/cm3)	17,620	Rhob(g/cm3)	16,794	Rhob(g/cm3)	1,430	Rhob(g/cm3)	2,632
Rhog(g/cm3)	33,083	Rhog(g/cm3)	19,954	Rhog(g/cm3)	1,666	Rhog(g/cm3)	2,824
Porosity(%)	46,740	Porosity(%)	15,839	Porosity(%)	14,196	Porosity(%)	6,819
Avg Por.(%)	46,740	Avg Por.(%)	15,839	Avg Por.(%)	14,196	Avg Por.(%)	6,819
Sample	**g-1**	**Sample**	**g-2**				
Mesured No.	1	Mesured No.	1				
Weight(g)	65,230	Weight(g)	65,840				
Length(cm)	4,979	Length(cm)	4,985				
Diameter(cm)	2,525	Diameter(cm)	2,525				
Block(cm3)	59,648	Block(cm3)	59,648				
V1(cm3)	102,562	V1(cm3)	102,562				
V2(cm3)	94,568	V2(cm3)	94,568				
P1(Psi)	65,690	P1(Psi)	61,550				
P2(Psi)	59,390	P2(Psi)	55,950				
Vb(cm3)	24,932	Vb(cm3)	24,962				
Vg(cm3)	24,040	Vg(cm3)	24,655				
Rhob(g/cm3)	2,616	Rhob(g/cm3)	2,638				
Rhog(g/cm3)	2,713	Rhog(g/cm3)	2,670				
Porosity(%)	3,575	Porosity(%)	1,231				
Avg Por.(%)	3,575	Avg Por.(%)	1,231				

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты определение степени метаморфизма на микрофотометре

Таблица В.1 – Отражательная способность витринита в угле

Theta	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11	Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	3,5	4,57	3,2	2,02	2,19	2,02	1,25	1,01	2,31	2,14	3,26	2,85	2,37	2,31	2,55	
20	4,09	5,34	3,68	2,49	2,97	2,61	1,72	1,25	3,2	2,85	4,21	3,97	2,97	2,91	2,97	
30	4,74	6,05	4,51	3,2	4,03	3,62	2,43	2,02	3,97	3,97	5,4	5,16	3,97	3,68	3,91	
40	5,22	6,41	4,51	3,91	5,04	4,57	3,32	2,79	5,04	5,34	6,35	5,93	4,74	4,51	4,86	
50	5,69	6,88	4,8	4,69	5,87	5,75	3,97	3,5	6,05	6,17	7,12	6,46	5,87	5,28	6,05	
60	6,05	7	4,86	5,1	6,64	6,58	4,74	4,33	7	7	7,18	7,41	6,46	6,05	6,41	
70	5,93	7	4,45	5,28	6,82	7,06	5,34	4,98	7,35	7,59	7,24	7,35	6,88	6,41	6,82	
80	5,81	6,64	4,27	5,22	6,88	7,35	5,75	5,22	7,41	7,53	6,88	7,24	7,18	6,46	6,88	
90	5,28	6,29	3,86	5,22	6,52	6,94	5,69	5,46	7,18	7,24	6,17	6,52	6,82	6,41	6,35	
100	4,74	5,52	3,32	4,63	5,87	6,29	5,28	5,4	6,41	6,52	5,22	5,58	6,35	5,99	5,81	
110	4,09	5,04	2,73	4,09	5,04	5,46	4,8	4,21	5,46	5,34	4,15	4,45	5,52	5,34	5,1	
120	3,62	3,91	2,19	3,32	4,27	4,21	3,8	5,4	4,33	4,45	3,14	3,38	4,8	4,74	3,91	
130	3,2	3,5	1,96	2,43	3,38	3,26	2,91	3,5	3,38	3,26	2,37	2,43	3,91	3,86	3,32	
140	2,73	3,26	1,78	1,78	2,43	2,37	2,14	2,85	2,43	2,25	1,6	1,42	3,08	3,02	2,37	
150	2,55	3,08	1,9	1,6	1,9	1,54	1,54	1,9	1,72	1,36	1,42	1,42	2,25	2,37	1,9	
160	2,55	3,2	2,02	1,25	1,42	1,36	1,25	1,25	1,36	1,07	1,36	1,36	2,02	1,96	1,6	
170	2,73	3,44	2,31	1,42	1,54	1,25	1,01	0,89	1,6	1,07	1,84	1,72	1,96	1,84	1,66	
180	3,02	3,97	2,79	1,66	1,9	1,48	1,07	0,71	1,84	1,42	2,37	2,37	2,02	2,25	1,96	
190	3,56	4,39	3,26	2,19	2,31	2,08	1,36	1,07	2,31	2,08	3,2	3,14	2,61	2,55	2,55	
200	3,91	5,04	3,97	2,79	3,32	2,85	1,72	1,42	3,38	3,02	4,45	4,33	3,26	3,32	3,5	
210	4,51	5,46	4,39	3,44	4,15	3,8	2,43	2,08	4,33	4,27	5,52	5,22	4,09	3,91	4,39	
220	4,92	5,87	4,74	4,09	5,04	4,86	3,2	2,79	5,22	5,34	6,52	6,05	4,98	4,74	5,34	
230	5,52	6,23	4,98	4,57	5,87	5,58	3,86	3,5	6,11	6,35	7,12	7,06	5,81	5,34	5,99	
240	5,46	6,41	4,74	5,22	6,58	6,64	4,51	4,27	6,76	7,35	7,3	7,35	6,64	6,05	6,58	
250	5,58	6,29	5,04	5,34	6,94	6,94	4,98	4,69	7,12	7,77	7,41	7,53	6,94	6,29	6,88	
260	5,28	6,23	4,45	5,4	6,94	7,18	5,22	5,16	7,35	7,77	7,06	7,12	7,35	6,46	7,24	
270	5,04	5,93	4,09	5,22	6,58	6,94	5,16	5,34	7	7,53	6,17	6,52	6,94	6,46	6,64	
280	4,74	5,4	3,68	4,69	5,99	6,41	5,04	5,34	6,35	6,7	5,46	5,63	6,52	5,99	5,99	
290	4,21	4,63	2,97	4,09	5,28	5,58	4,57	4,86	5,58	5,75	4,45	4,63	5,75	5,46	5,34	
300	3,91	4,21	2,31	3,44	4,33	4,51	3,86	4,15	4,57	4,57	3,32	3,62	5,1	4,57	4,21	
310	3,44	3,8	2,19	2,67	3,26	3,44	3,08	3,5	3,56	3,44	2,43	2,67	4,09	3,8	3,32	
320	2,91	3,5	1,78	1,9	2,67	2,55	2,31	2,61	2,49	2,31	1,6	1,72	3,32	3,08	2,61	
330	2,85	3,32	1,78	1,48	1,84	1,72	1,78	1,84	1,84	1,6	1,36	1,42	2,49	2,43	1,84	
340	2,55	3,2	1,9	1,25	1,48	1,19	1,25	1,3	1,42	1,07	1,3	1,19	2,08	2,08	1,54	
350	2,73	3,56	2,19	1,42	1,54	1,07	0,95	0,95	1,42	1,07	1,66	1,48	1,9	1,84	1,66	
360	3,08	3,97	2,73	1,66	1,72	1,42	1,01	0,83	1,72	1,42	2,31	2,14	1,9	1,9	1,78	Average
Rmax	6,05	7,00	5,04	5,40	6,94	7,35	5,75	5,46	7,41	7,77	7,41	7,53	7,35	6,46	7,24	1,48
Rmin	2,55	3,08	1,78	1,25	1,42	1,07	0,95	0,71	1,36	1,07	1,3	1,19	1,9	1,84	1,54	0,8

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Документация скважин

Таблица Г.1 – Паспорт скважины № 6

1-ая Дубовская Реестр проб							
№№ п/п	№ скважины	№ пробы	№ обр.	Интервал опробования, м		Мощность обр, м	Название породы
				от	до		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6	1	1	230,30	230,60	0,30	аргиллит
2			2	230,60	230,80	0,20	аргиллит
3			3	232,0	232,20	0,20	аргиллит
4			4	232,20	232,40	0,20	аргиллит
5		2	1	222,60	222,80	0,20	алевролит
6			2	225,80	226,10	0,30	алевролит
7			3	227,60	227,90	0,30	алевролит
8		3	1	218,0	218,20	0,20	конгломерат
9			2	218,40	218,70	0,30	конгломерат
10			3	218,80	219,0	0,20	конгломерат
11		4	1	216,60	217,0	0,40	аргиллит
12			2	217,20	217,40	0,20	аргиллит
13			3	217,50	217,70	0,20	аргиллит
14		5	1	212,30	212,50	0,20	песчаник
15			2	213,90	214,30	0,30	песчаник
16			3	215,30	215,50	0,20	песчаник
17		6	1	210,80	211,10	0,30	переслаивание
18			2	211,40	211,70	0,30	переслаивание
19			3	211,80	211,90	0,10	переслаивание
20		7	1	208,0	208,30	0,30	песчаник
21			2	208,60	208,80	0,20	песчаник
22			3	209,60	210,0	0,40	песчаник
23		8	1	206,10	206,40	0,30	алевролит
24			2	207,0	207,20	0,20	алевролит
25		9	1	201,60	201,80	0,20	песчаник
26			2	202,20	202,70	0,50	песчаник
27			3	205,30	205,70	0,40	песчаник
28		10	1	200,20	200,40	0,40	песчаник
29			2	200,40	200,70	0,30	песчаник
30			3	200,90	201,0	0,10	песчаник
31		101	1	239,0	239,1	0,10	алевролит
32			2	239,1	239,2	0,10	алевролит
33		102	1	240,5	240,6	0,10	аргиллит
34			2	240,6	240,7	0,10	аргиллит
35		103	1	241,0	241,1	0,10	песчаник
36			2	241,1	241,35	0,25	песчаник
37			3	241,35	241,50	0,15	песчаник

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8
38		104	1	241,80	241,90	0,10	алевролит
39			2	241,90	242,0	0,10	алевролит
40			3	242,0	242,20	0,20	алевролит
41			4	242,20	242,30	0,10	алевролит
42			5	242,30	242,40	0,10	алевролит
43		105	1	243,0	243,20	0,20	песчаник
44			2	243,20	243,50	0,30	песчаник
45	6	105	3	243,50	243,65	0,15	песчаник
46			4	243,65	243,95	0,30	песчаник
47		106	1	247,60	247,85	0,25	алевролит
48			2	247,85	248,0	0,15	алевролит
49			3	248,0	248,15	0,15	алевролит
50			4	248,15	248,35	0,20	алевролит
51			5	248,35	248,55	0,20	алевролит
52		107	1	256,40	256,50	0,10	алевролит
53			2	256,50	256,60	0,10	алевролит
54			3	256,60	256,75	0,15	алевролит
55			4	256,75	256,90	0,15	алевролит
56		108	1	258,30	258,45	0,15	песчаник
57			2	258,45	258,60	0,15	песчаник
58			3	258,60	258,75	0,15	песчаник
59			4	258,75	258,95	0,20	песчаник
60			5	258,95	259,30	0,35	песчаник
61		109	1	266,0	266,45	0,45	песчаник
62			2	266,45	266,80	0,35	песчаник
63		110	1	421,60	421,75	0,15	алевролит
64			2	421,75	422,10	0,35	алевролит
65			3	422,10	422,30	0,20	алевролит
66			4	422,30	422,50	0,20	алевролит
67		111	1	428,0	428,30	0,30	алевролит
68			2	428,30	428,55	0,25	алевролит
69			3	428,55	428,75	0,20	алевролит
70			4	428,75	428,95	0,20	алевролит
71		112	1	436,0	436,2	0,20	алевролит
72			2	436,2	436,35	0,15	алевролит
73			3	436,35	436,50	0,15	алевролит
74			4	436,50	436,65	0,15	алевролит
75		113	1	440,0	440,10	0,10	алевролит
76			2	440,10	440,20	0,10	алевролит
77			3	440,20	440,30	0,10	алевролит
78			4	440,30	440,45	0,15	алевролит
79		114	1	446,0	446,55	0,55	песчаник
80			2	446,55	446,95	0,40	песчаник
81		115	1	467,0	467,10	0,10	алевролит
82			2	467,10	467,20	0,10	алевролит
83			3	467,20	467,30	0,10	алевролит

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8
84		116	1	473,0	473,20	0,20	песчаник
85			2	473,20	473,65	0,45	песчаник
86			3	473,65	473,80	0,15	песчаник
87			4	473,80	473,95	0,15	песчаник
88		117	1	525,20	525,50	0,30	песчаник
89			2	525,50	525,80	0,30	песчаник
90			3	525,80	526,20	0,40	песчаник
91		118	1	531,0	531,40	0,40	алевролит
92			2	531,40	531,70	0,30	алевролит
93			3	531,70	532,0	0,30	алевролит
94	6	119	1	537,20	537,45	0,25	алевролит
95			2	537,45	537,85	0,40	алевролит
96			3	537,85	538,30	0,45	алевролит
97		120	1	546,20	546,60	0,40	алевролит
98			2	546,60	546,90	0,30	алевролит
99			3	546,90	547,30	0,40	алевролит
100		121	1	552,30	552,50	0,20	алевролит
101			2	552,50	552,70	0,20	алевролит
102			3	552,70	552,95	0,25	алевролит
103			4	552,95	553,40	0,45	алевролит
104		122	1	559,50	559,80	0,30	алевролит
105			2	559,80	560,25	0,45	алевролит
106			3	560,25	560,50	0,25	алевролит
107		123	1	564,0	564,25	0,25	алевролит
108			2	564,25	564,60	0,35	алевролит
109			3	564,60	564,80	0,20	алевролит
110			4	564,80	5645,0	0,20	алевролит
111		124	1	567,7	568,0	0,30	алевролит
112			2	568,0	568,20	0,20	алевролит
113			3	568,20	568,40	0,20	алевролит
114			4	568,40	568,65	0,25	алевролит
115		125	1	571,60	571,75	0,15	алевролит
116			2	571,75	572,0	0,25	алевролит
117			3	572,0	572,25	0,25	алевролит
118			4	572,25	572,50	0,25	алевролит
119		126	1	577,40	577,55	0,15	песчаник
120			2	577,55	577,70	0,15	песчаник
121			3	577,70	577,95	0,25	песчаник
122			4	577,95	578,30	0,25	песчаник
123		127	1	582,0	582,15	0,15	алевролит
124			2	582,15	582,30	0,15	алевролит
125			3	582,30	582,55	0,25	алевролит
126			4	582,55	582,80	0,25	алевролит
127		128	1	598,80	599,20	0,40	переслаивание песчаника с алевр.

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8
128			2	599,20	599,50	0,30	переслаивание песчаника с алевр.
129			3	599,50	599,80	0,30	переслаивание песчаника с алевр.
130		129	1	603,6	603,70	0,10	алевролит
131			2	603,70	603,80	0,10	алевролит
132			3	603,80	603,90	0,10	алевролит
133			4	603,90	604,05	0,15	алевролит
134		130	1	607,0	607,30	0,30	алевролит
135			2	607,30	607,45	0,15	алевролит
136			3	607,45	607,60	0,15	алевролит
137			4	607,60	607,85	0,25	алевролит
138			5	607,85	608,10	0,25	алевролит
Всего 40 проб (138 образцов)							

Таблица Г.2 – Паспорт скважины № 16

№№ п/п	№ скважины	№ пробы	№ обр.	Интервал опробования,м		Мощность обр, м	Название породы
				от	до		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	1	1	504,40	504,60	0,20	алевролиты
2			2	505,50	505,75	0,15	
3			3	506,15	506,40	0,25	
4			4	508,00	508,35	0,35	
5		2	1	511,90	512,1	0,20	Алевролиты с прослоями песчаников
6			2	512,20	512,40	0,20	
7			3	513,65	513,90	0,25	
8			4	514,45	514,65	0,20	
9		3	1	514,85	514,95	0,10	Аргиллиты
10			2	515,20	515,35	0,15	
11			3	518,05	518,15	0,10	
12			4	519,55	519,65	0,10	
13			5	519,70	519,85	0,15	
14		4	1	522,30	522,50	0,20	Песчаники
15			2	522,80	523,05	0,25	
16			3	523,05	523,40	0,35	
17		5	1	523,70	523,85	0,15	Углефицированные аргиллиты
18			2	524,20	524,30	0,10	
19			3	524,30	524,35	0,05	
20			4	524,45	524,50	0,05	
21			5	524,50	524,60	0,10	
22		6	1	532,22	532,32	0,10	Алевролиты
23			2	532,40	532,50	0,10	
24			3	532,62	532,75	0,13	

Продолжение таблицы Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8
25			4	532,75	532,90	0,15	
26			5	532,90	533,05	0,15	
27		7	1	533,72	534,15	0,43	Песчаники
28			2	534,30	534,50	0,20	
29			3	534,50	534,76	0,26	
30		8	1	539,17	539,30	0,13	Алевролиты
31			2	539,42	539,52	0,10	
32			3	539,72	539,95	0,23	
33			4	539,95	540,05	0,10	
34			5	540,10	540,20	0,10	
35		9	1	561,55	561,90	0,35	Песчаники
36			2	562,80	563,20	0,40	
37			3	565,90	566,10	0,20	
38		10	1	573,25	573,60	0,35	Песчаники
39			2	573,60	573,96	0,36	
40			3	574,60	574,80	0,20	
41		11	1	575,85	576,12	0,27	Алевролиты
42			2	576,12	576,27	0,15	
43			3	576,80	576,95	0,15	
44			4	577,20	577,35	0,15	
45		12	1	577,75	577,85	0,10	Аргиллиты
46			2	578,80	578,20	0,10	
47		12	3	579,25	579,35	0,10	Аргиллиты
48			4	580,30	580,40	0,10	
49		13	1	587,00	587,10	0,10	Алевролиты
50			2	587,17	587,25	0,08	
51			3	587,25	587,40	0,15	
52			4	587,40	587,50	0,10	
53	16		5	587,60	587,80	0,20	
54		14	1	588,00	588,25	0,25	Переслаивание песчаников и алевролитов
55			2	588,45	588,65	0,20	
56			3	588,95	589,35	0,40	
57		15	1	594,75	595,00	0,25	Песчаники
58			2	598,80	596,17	0,37	
59			3	597,00	597,25	0,25	
Всего 15 проб (59 образцов)							

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты лабораторных анализов ТОО «Центргеоланалит»

KZ.И.10.0109

Испытательный центр ТОО «Центргеоланалит»
100008, г. Караганда, бульвар Мира, 12;
тел/факс: 8(7212) 42-60-39
Лаборатория инженерно-геологических исследований
100008, г.Караганда, бульвар Мира, 16а
тел: 8 (7212) 42-56-02

Заказ № 3840-15-13
Объект: «Восточное крыло шахты им. Кузембаева».
Метод определения: механические свойства
Дата проведения испытания: февраль 2013 г.
Всего листов__2_
Лист __1__
Протокол испытаний

Таблица Д.1 – Результаты пределов прочности на сжатие, растяжение углевмещающих пород

№ скважины	№ пробы	№ образца	$\sigma_{сж.сух}$ МПа	$\sigma_{рас.сух}$ МПа	Коэффициент крепости	
					Коэффициент крепости	Категория и степень крепости
1	2	3	4	5	6	7
Скв.16	1	1	19,8	3,8	-	-
504,40-508,35		2	22,9	4,9	-	-
		3	26,4	2,8	-	-
		4	27,8	5,4	-	-
		5	27,3	2,8	-	-
Среднее значение			**24,9**	**3,9**	**7,9**	IV-довольно крепкие
Скв.16	2	1	29,8	4,5	-	-
511,90-514,65		2	32,8	4,2	-	-
		3	29,5	3,8	-	-
		4	26,3	3,0	-	-
Среднее значение			**32,1**	**3,9**	**7,4**	IV-довольно крепкие
Скв.16	3	1	21,8	2,4	-	-
514,85-519,85		2	16,3	2,6	-	-
		3	36,6	-	-	-
Среднее значение			**24,9**	**2,5**	**6,2**	IV-довольно крепкие
Скв.16	4	1	37,6	3,1	-	-
522,30-523,40		2	48,6	4,8	-	-
		3	33,1	4,2	-	-
		4	51,3	4,9	-	-
		5	39,7	-	-	-
Среднее значение			**42,1**	**4,3**	**7,7**	IV-довольно крепкие
Скв.16	5	1	11,1	1,4	-	-
523,70-524,60		2	15,4	0,9	-	-
		3	10,9	-	-	-
Среднее значение			**12,5**	**1,1**	**4,0**	V-средние породы
Скв.16	6	1	22,6	2,5	-	-
532,22-533,05		2	26,2	2,7	-	-
		3	30,0	-	-	-

Продолжение таблицы Д.1

1			2	3	4	5
Среднее значение			**26,3**	**2,6**	**6,9**	IV-довольно крепкие
Скв.16	7	1	31,4	3,7	-	-
533,72-534,76		2	30,8	3,8	-	-
		3	25,7	3,2	-	-
		4	23,9	4,1	-	-
		5	29,0	4,5	-	-
		6	29,9	-	-	-
Среднее значение			**28,5**	**3,9**	**6,7**	IV-довольно крепкие
Скв.16	8	1	50,4	4,5	-	-
539,17-540,20		2	48,1	4,8	-	-
Среднее значение			**49,3**	**4,7**	**8,0**	IV-довольно крепкие
Скв.16	9	1	33,4	5,1	-	-
561,55-566,10		2	27,4	5,2	-	-
		3	38,2	3,5	-	-
		4	35,4	4,9	-	-
		5	43,8	3,7	-	-
		6	34,8	-	-	-
Среднее значение			**35,5**	**4,5**	**6,7**	IV-довольно крепкие
Скв.16	10	1	33,1	3,9	-	-
573,25-574,80		2	33,9	2,9	-	-
		3	23,1	3,7	-	-
		4	34,4	3,8		
		5	34,6	3,6		
		6	32,2	-		
Среднее значение			**31,9**	**3,6**	**6,9**	IV-довольно крепкие
Скв.16	11	1	34,2	3,1	-	-
575,85-577,35		2	31,1	3,9	-	-
		3	30,0	-	-	-
Среднее значение			**31,8**	**3,5**	**7,5**	IV-довольно крепкие
Скв.16	12	1	21,6	2,0	-	-
577,75-580,40		2	22,8	1,9	-	-
Среднее значение			**22,2**	**2,0**	**7,4**	IV-довольно крепкие
Скв.16	13	1	26,1	2,6	-	-
587,00-587,80		2	22,4	2,2	-	-
		3	22,9	-	-	-
Среднее значение			**23,8**	**2,4**	**7,8**	IV-довольно крепкие
Скв.16	14	1	22,8	2,7	-	-
588,00-589,35		2	29,6	3,6	-	-
		3	34,9	3,0	-	-
Среднее значение			**29,1**	**3,1**	**7,3**	IV-довольно крепкие
Скв.16	15	1	40,4	5,4	-	-
594,75-597,25		2	45,1	4,6	-	-
		3	42,0	4,2	-	-
		4	36,2	4,4	-	-
		5	37,5	4,8	-	-
		6	42,4	-	-	-
Среднее значение			**40,6**	**4,7**	**6,3**	IV-довольно крепкие

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям

Начальник лаборатории инженерно-геологических исследований Федорченко И.В.

KZ.И.10.0109

Испытательный центр ТОО «Центргеоланалит»
100008, г. Караганда, бульвар Мира, 12;
тел/факс: 8(7212) 42-60-39
Лаборатория инженерно-геологических исследований
100008, г.Караганда, бульвар Мира, 16а
тел: 8 (7212) 42-56-02

Заказ № 3840-15-13
Объект: «Восточное крыло шахты им. Кузембаева».
Метод определения: физические свойства
Дата проведения испытания: февраль 2013 г.
Всего листов__1_
Лист __1__
Протокол испытаний

Таблица Д.2 - Результаты физико-механических свойств углевмещающих пород

№ Сква-жины	№ Про-бы	Глубина отбора образца, от -до, м	Достав-ленная влажность %	Плот-ность частиц, г/см^3	Средняя (объемная) плотность, г/см^3	Порис-тость, %	Коэф. водо-насы-щения	Водо-поглоще-ние, %
Скв.16	1	504,40-508,35	5,3	2,68	2,34	12,7	-	2,68
Скв.16	2	511,90-514,65	3,2	2,71	2,52	7,0	-	1,40
Скв.16	3	514,85-519,85	5,3	2,65	2,33	12,1	-	2,91
Скв.16	4	522,30-523,40	1,7	2,74	2,61	4,7	-	0,48
Скв.16	5	523,70-524,60	8,6	2,60	2,26	13,1	0,90	-
Скв.16	6	532,22-533,05	5,4	2,64	2,44	7,6	1,00	-
Скв.16	7	533,72-534,76	2,8	2,79	2,65	5,0	-	0,64
Скв.16	8	539,17-540,20	5,1	2,67	2,44	8,6	0,91	-
Скв.16	9	561,55-566,10	3,4	2,84	2,58	9,2	-	1,42
Скв.16	10	573,25-574,80	2,3	2,90	2,76	4,8	-	0,56
Скв.16	11	575,85-577,35	5,2	2,67	2,47	7,5	1,00	-
Скв.16	12	577,75-580,40	4,7	2,78	2,52	9,4	0,84	-
Скв.16	13	587,00-587,80	5,6	2,67	2,46	7,9	1,00	-
Скв.16	14	588,00-589,35	4,6	2,66	2,50	6,0	1,00	-
Скв.16	15	594,75-597,25	3,3	2,73	2,58	5,5	-	0,96
Количество значений			15	15	15	15	7	8

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям

Начальник лаборатории инженерно-геологических исследований Федорченко И.В.